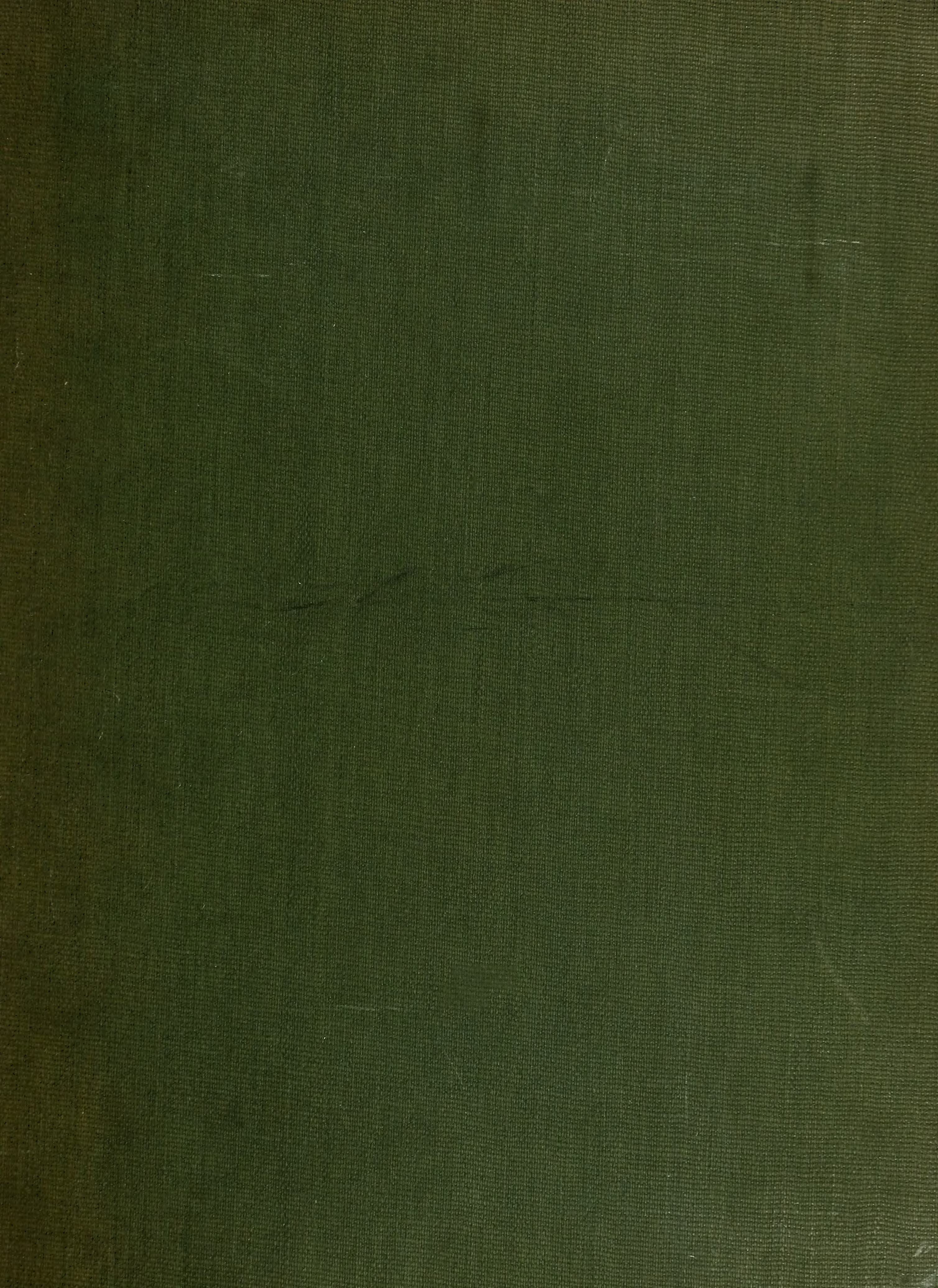
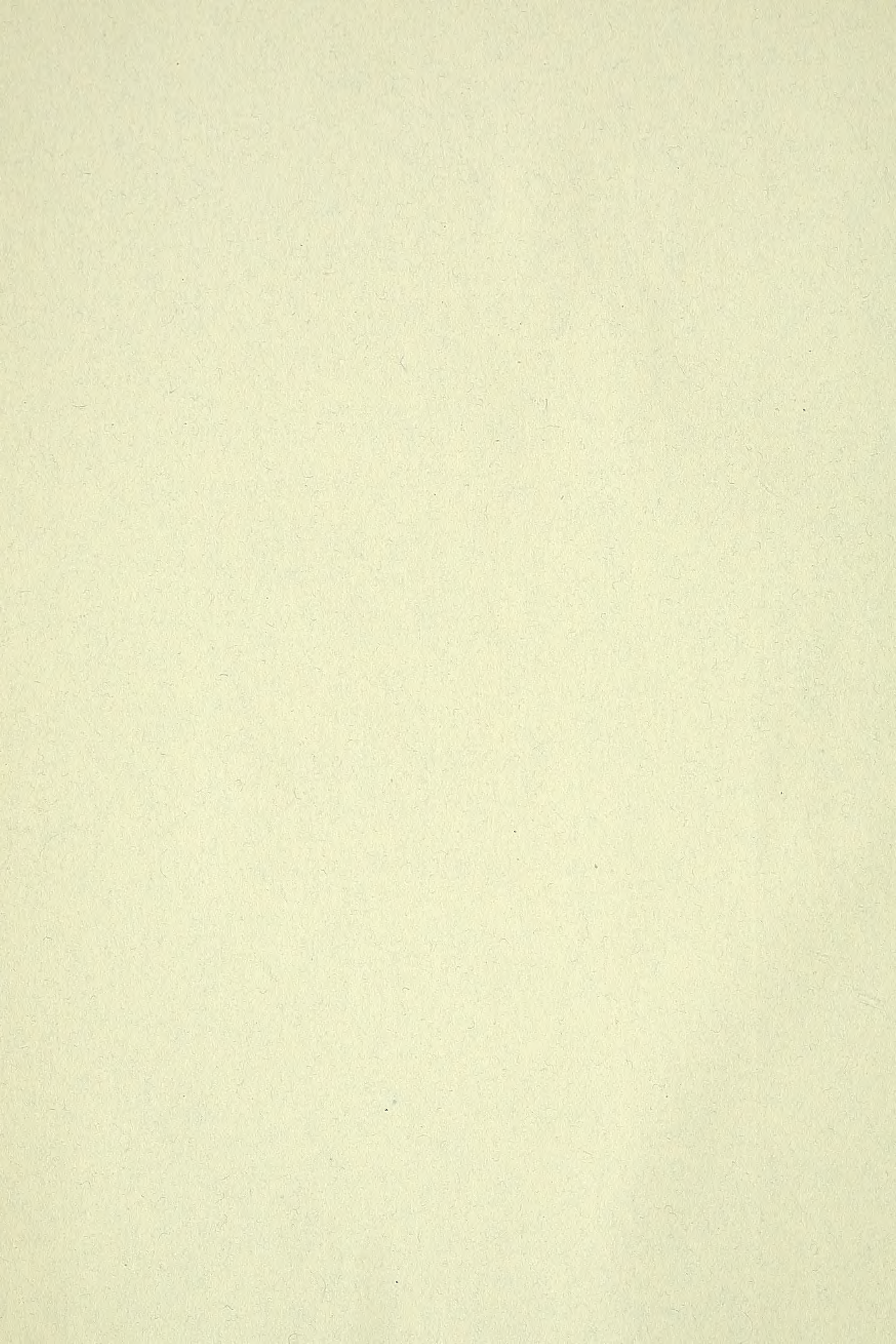










ABHANDLUNGEN

DER

KÖNIGLICH BAYERISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

MATHEMATISCH-PHYSIKALISCHE KLASSE

FÜNFUNDZWANZIGSTER BAND
IN DER REIHE DER DENKSCHRIFTEN DER LXXXIII. BAND

MÜNCHEN 1912
VERLAG DER K. B. AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN
IN KOMMISSION DES G. FRANZ'SCHEN VERLAGS (J. ROTH)

21- 84954 - June 3.

Akademische Buchdruckerei von F. Straub in München.

Inhalt des XXV. Bandes.

Abhandlungen
der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
XXV. Band, 1. Abhandlung

Radium, Thorium und Aktinium
in der Atmosphäre
und ihre Bedeutung für die atmosphärische Elektrizität

von

Karl Kurz

mit 4 Tafeln

Vorgelegt am 12. Juni 1909

München 1909
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



Plan.



Einleitung.

Von den vier großen Familien radioaktiver Stoffe, Uran, Radium, Thorium, Aktinium, kommen für die Atmosphäre nur drei in Betracht: Radium, Thorium und Aktinium haben unter ihren Zerfallsprodukten ein gasförmiges Glied, eine Emanation. Für sie besteht also die Möglichkeit und damit in diesem Falle die Wahrscheinlichkeit, daß von den obersten Schichten der Erdrinde aus, in der sich die radioaktiven Stoffe in feinster Verteilung vorfinden, die Atmosphäre mit den Emanationen und ihren Zerfallsprodukten durchsetzt wird. Mit der den Erdkapillaren entsteigenden Bodenluft, durch Diffusion, mit aufwärts gehenden Luftströmungen, also auf rein mechanischem Wege gelangt die gasförmige Emanation in die Höhe, zerfällt nach der ihr eigentümlichen Halbwertszeit und hinterläßt in der Atmosphäre die aus ihr sich entwickelnden festen radioaktiven Zerfallsprodukte.

Uran scheidet also bei einer Betrachtung der radioaktiven Stoffe in der Atmosphäre deshalb aus, weil es keine Emanation entwickelt; andererseits läßt sich mit dem gleichen Grade von Wahrscheinlichkeit ohne weiteres behaupten, daß Glieder der Familien Radium, Thorium und Aktinium in gleicher Weise sich in der Atmosphäre aufhalten.

Der Nachweis dieser Anwesenheit wird sich für die drei um so leichter gestalten, je langlebiger die Emanation ist, je größer die Halbwertszeit, d. h. je länger die Zeit ist, in der die Hälfte der gerade vorhandenen Emanationsmenge durch radioaktiven Zerfall verschwindet. Die weitaus größte Halbwertszeit unter den drei Emanationen hat die des Radiums: 3,8 Tage. Hier besteht also die Möglichkeit, während verhältnismäßig langer Zeit eine etwa der Atmosphäre entzogene Emanationsmenge zu untersuchen. Die aus der Radiumemanation entstehenden Zerfallsprodukte lassen sich etwa vier Stunden lang beobachten, ehe sie praktisch vollständig verschwunden sind.

Die große Halbwertszeit der Radiumemanation können wir also als Ursache für eine verhältnismäßig starke Anreicherung in der Atmosphäre ansehen und auch als Grund für die zahlreichen Beobachtungen und Messungen, die an ihr bereits vorgenommen worden sind.

Weit ungünstiger liegen die Verhältnisse beim Thorium. Die Halbwertszeit seiner Emanation ist 53 Sekunden, also noch nicht $^1/_{6000}$ des Wertes bei Radiumemanation, d. h. die gleichzeitig mit der Radiumemanation in der Bodenluft dem Erdboden entsteigende Thoriumemanation zerfällt etwa 6000 mal schneller als die Radiumemanation. Obwohl bereits mehrere quantitative Messungen über den Emanationsgehalt der Atmosphäre zur Zeit vorliegen, ist trotzdem noch keine Trennung der Emanation in ihre etwaigen Komponenten durchgeführt worden. Der Grund liegt eben in der kurzen Halbwertszeit

der Thoriumemanation. — Für den Nachweis des Thoriums bzw. seiner Zerfallsprodukte in der Atmosphäre ist nun ein anderer Umstand günstig gewesen: die große Halbwertszeit eines der Zerfallsprodukte, des Thor A: 11 Stunden. Da, wie oben bemerkt, die Zerfallsprodukte der Radiumemanation nach vier Stunden praktisch verschwunden sind, so ergab sich aus der großen Halbwertszeit des Thor A eine Möglichkeit eines experimentellen Nachweises der Thoriumzerfallsprodukte in der Atmosphäre.

Am ungünstigsten liegt der Fall für das Aktinium. Die Halbwertszeit seiner Emanation ist 3,9 Sekunden, also etwa $^1/_{84000}$ von der der Radiumemanation. Aktiniumemanation, die dem Erdboden entweicht, zerfällt 84000 mal rascher als Radiumemanation. Dem Nachweis in der Atmosphäre kommt auch nicht der günstige Umstand wie beim Thorium zu Hilfe, eine große Halbwertszeit der Zerfallsprodukte der Emanation. Im Gegenteil, der Zerfall des radioaktiven Niederschlags von Aktinium zeigt weitgehende Übereinstimmung mit dem Zerfall des radioaktiven Niederschlags von Radium. Nach vier Stunden ist auch hier praktisch alle Substanz durch Zerfall verschwunden.

Die vorliegende Arbeit, deren experimenteller Teil bereits im Jahre 1906 im physikalischen Institut der Universität Gießen ausgeführt worden ist, wurde zu dem Zweck unternommen, nachzuweisen, daß die drei Substanzen, für die die Möglichkeit des Vorkommens in der Atmosphäre besteht, auch wirklich nachweisbar sind. Denn die Reihenfolge, in der geschichtlich die Auffindung der radioaktiven Stoffe in der Atmosphäre erfolgte, ist tatsächlich in obigen Überlegungen begründet. Radium bzw. seine Zerfallsprodukte wurden zuerst in der Atmosphäre gefunden, dann folgte nach mehreren Jahren Thorium. Über das etwaige Vorhandensein von Aktinium wurden erst in jüngster Zeit, als der experimentelle Teil dieser Arbeit bereits abgeschlossen war, von Gockel[1]) und von Jaufmann[2]) Andeutungen gemacht. Ich glaube mit vorliegender Arbeit nachweisen zu können, daß man den aus der Luft erhältlichen radioaktiven Stoff tatächlich in drei Hauptkomponenten zerlegen und ihre Abstammung auf die drei in Betracht kommenden Familien Radium, Thorium und Aktinium zurückführen kann. Hier konnte, namentlich wegen des bereits besprochenen Verhaltens von Radium und Aktinium beim Zerfall des Niederschlags, nur eine weitgehende Variation der Versuchsbedingungen zum Ziele führen.

Eine weitere Aufgabe der Arbeit war der Versuch, die von Elster und Geitel als Maß für den Gehalt der Atmosphäre an radioaktiver Substanz eingeführte „Aktivierungszahl“[3]) auf absolutes Maß zurückzuführen. Daran kranken bekanntlich alle nach der Elster-Geitelschen Methode ausgeführten Messungen, deren Resultate in „Aktivierungszahlen“ gegeben sind, daß man nicht weiß, was sie eigentlich in quantitativer Hinsicht bedeuten, in welchem Zusammenhang sie mit dem tatsächlichen Gehalt der Luft an radioaktiver Substanz stehen. Der leitende Wunsch in dieser Arbeit war daher, die zahlreichen bereits an vielen Orten der Erde ausgeführten Messungen nachträglich auf absolutes Maß reduzieren zu können. Wir haben in der Elster-Geitelschen Aktivierungszahl einen analogen Fall zum Elster-Geitelschen Zerstreuungsapparat. Zur Erschließung und Ein-

---

[1]) A. Gockel, Phys. Zs. 8, 701, 1907.

[2]) J. Jaufmann, Untersuchungen über den radioaktiven und elektrischen Zustand der Atmosphäre. Dissertation, München 1908, S. 21.

[3]) Elster und Geitel, Phys. Zs. 4, 526, 1903.

führung in bis dahin gänzlich unbekannte Gebiete haben Zerstreuungsapparat und Aktivierungszahl unschätzbare Dienste geleistet. Als man aber dann nach der Orientierung im vorliegenden Gebiete zu quantitativen Messungen überging, zeigte sich die Unmöglichkeit, die zahlreichen bereits ausgeführten Messungen streng richtig zu deuten. Einen Versuch einer quantitativen Deutung der Aktivierungszahl und damit bis zu einem gewißen Grad aller in Aktivierungszahlen gegebenen Messungen, enthält die vorliegende Arbeit.

Ferner ist hier der Versuch gemacht worden, zu zeigen, daß es nicht angängig ist, in der hie und da gebräuchlichen Weise das Verhältnis der Aktivitäten der in der Atmosphäre vorhandenen Stoffe anzugeben. Es wird gezeigt, wie weit dies Verhältnis unter Umständen lediglich eine Funktion der jeweiligen Versuchsanordnung ist, und wie sich dies Verhältnis gestaltet bei einer speziellen Versuchsanordnung.

Im Anschluß hieran soll dargelegt werden, wie weit bei allen Aktivierungen von Drähten in der Atmosphäre das Resultat abhängig ist von dem natürlichen elektrischen Felde der Erde, in dem die Versuche ausgeführt werden. Hier soll namentlich dann auch die Frage nach der Aktivierung von Drähten bei positiver Spannung von diesem Gesichtspunkte aus beleuchtet werden.

Schließlich sind in einem II. Teil die von mir gefundenen Resultate im Zusammenhang mit den von anderen Seiten her vorliegenden Ergebnissen entsprechender Untersuchungen auf das Gebiet der Luftelektrizität angewandt worden zur Beantwortung einer der Kernfragen der gesamten Luftelektrizität: Welchen Beitrag zu der Aufrechterhaltung des Elektrizitätshaushaltes der Atmosphäre vermögen die radioaktiven Stoffe zu liefern?

Methode.

Der erste Nachweis fester radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre und im Anschluß daran weitaus die meisten auf diesem Gebiete gemachten Untersuchungen gründen sich auf ein bekanntes Experiment Rutherfords: Setzt man einen Metalldraht in einem geschlossenen Gefäße der Einwirkung der Thoremanation aus, so bedeckt sich nach und nach die Oberfläche des Drahtes mit den Zerfallsprodukten der Emanation, mit Thor A, B, C.

Dies Experiment auf die freie Atmosphäre übertragen,[1]) liefert radioaktive Stoffe, die einem Luftzylinder von um so größerem Durchmesser entzogen sind, je höher man die an den Draht anzulegende negative Spannung wählt. Der in dieser Weise aktivierte Draht wird zur Untersuchung in den Zerstreuungsraum eines Elektrometers gebracht. Man beobachtet nun den Elektrizitätsverlust des geladenen Systems infolge der durch die radioaktiven Stoffe unterhaltenen Ionisierung der Luft. „Aktivierungszahl“ nannten Elster und Geitel die Voltzahl, um die die Spannung des bekannten Elster-Geitelschen Zerstreuungsapparates während einer Stunde fiel durch Einbringen von 1 m des in Luft bei ca. —2000 Volt aktivierten Drahtes.

Da die Menge der auf einem Draht abgelagerten Substanz abhängig ist von der Höhe der an den Draht angelegten Spannung, so war zu schließen, daß den sich ab-

---

[1]) Elster und Geitel, Phys. Zs. **4**, 526, 1903; **3**, 305, 1902; **4**, 96, 1902.

lagernden radioaktiven Partikeln im elektrischen Felde eine bestimmte spezifische Geschwindigkeit zukommt. Dann aber kann eine in obiger Weise ausgeführte Untersuchung kein quantitatives Resultat liefern: Man weiß nicht, welchem Luftvolumen man die schließlich auf dem Draht vorhandene Menge radioaktiver Substanz entzogen hat.[1]) Quantitative Messungen des Gehaltes der Luft an festen radioaktiven Stoffen wurden daher nach einer Aspirationsmethode unternommen:[2]) Man saugt ein abgemessenes Luftvolumen durch einen Röhrenkondensator, in dem Sättigungsstrom herrscht für die radioaktiven Stoffe. Die Niederschläge auf der negativen Elektrode werden dann in geeigneter Weise gemessen.

In vorliegender Arbeit sind beide Methoden zur Gewinnung radioaktiver Stoffe aus der Atmosphäre in Anwendung gekommen. Zur Analyse der Art der Stoffe war es nötig, in möglichst kurzer Zeit möglichst große Mengen solcher Substanz erhalten zu können. Dafür erwies sich das Ausspannen eines langen dünnen Drahtes bei Anwendung hoher negativer Potentiale am geeignetsten. Gründe, die im Wesen der zu untersuchenden Momente lagen, vor allem in der Frage nach der Bedeutung des Erdfeldes für die gesamten Erscheinungen, bedingten es, daß die Drähte nicht, wie bisher üblich, horizontal, sondern in einer Länge von über 20 m vertikal ausgespannt wurden. — Es wurden am gleichen Beobachtungsort nach einer Aspirationsmethode quantitative Messungen des Gehaltes der Atmosphäre an festen radioaktiven Stoffen ausgeführt. Diese sollten dann die eingangs angedeutete Reduktion der Elster-Geitelschen Aktivierungszahl auf absolutes Maß ermöglichen. Denn die bei der Aktivierung von Drähten in der Atmosphäre erhaltenen Resultate konnten in „Aktivierungszahlen“ angegeben werden. —

Die Variationsmöglichkeiten, die die Methode der Untersuchung der auf einem Draht angesammelten radioaktiven Substanzen gestatten muß, wenn sie eine Analyse dieser Stoffe und die Beantwortung der weiteren hier gestellten Fragen erlauben soll, ergaben sich aus einer Betrachtung der bekannten Formeln über die Abklingung radioaktiver Niederschläge:[3])

Aus der Emanation einer radioaktiven Substanz sollen der Reihe nach drei verschiedene Stoffe A', B', C' entstehen, so daß beim Zerfall der Emanation der Körper A', aus diesem der Körper B' und aus diesem endlich C' gebildet wird.[4]) Die Stoffe A', B', C' seien charakterisiert durch die Radioaktivitätskonstanten λ_1', λ_2', λ_3', gegeben in $\sec^{-1}$, und wir wollen weiterhin die Annahme machen, daß sich auf dem in der Emanation ausgespannten Draht nur der Stoff A' niederschlage; die Stoffe B' und C', die wir bei einer Untersuchung auf dem Draht ebenfalls vorfinden, seien also erst sekundär aus dem primär niedergeschlagenen A' entstanden. Ob man diese Annahme wirklich machen kann, muß

---

[1]) H. Gerdien, Phys. Zs. **6**, 465, 1905.

[2]) H. Gerdien, a. a. O.; Abhandlungen der K. Ges. d. Wiss. zu Göttingen, Neue Folge **5**, Nr. 5, 1907. K. W. F. Kohlrausch, Wien. Ber. **115**, 2a, 1263, 1906. K. Kurz, Die Beeinflussung luftelektrischer Messungen durch die festen radioaktiven Stoffe der Atmosphäre. Dissertation, Gießen 1907, S. 62. Phys. Zs. **9**, 177—184, 1908.

[3]) Unter der Bezeichnung „radioaktive Niederschläge“ ist also im folgenden immer die ganze Reihe fester Zerfallsprodukte der Emanation zu verstehen, die sich auf einem der Emanation ausgesetzten Draht niederschlagen.

[4]) Auf die speziellen Verhältnisse in der Atmosphäre übertragen, wäre dies der Fall des Radiums mit Emanation, *Ra A*, *Ra B*, *Ra C*, da die weiteren Glieder der Radiumfamilie bis *Ra F* bzw. *Ra G* für unsere Zwecke nicht in Betracht kommen ihres langsamen Zerfalls wegen und wegen der Art der von ihnen ausgesandten Strahlen.

natürlich besonders geprüft werden; der Beweis, daß dies tatsächlich erlaubt ist, wird später, S. 24, erbracht.

Was wir im Elektrometer messen können, das sind jeweilig die Bruchteile der Stoffe A', B', C', die gerade im Zerfall begriffen sind. Bezeichnen wir diese Mengen mit $\mathfrak{A}'$, $\mathfrak{B}'$, $\mathfrak{C}'$, ist der Draht während der Zeit Θ (in sec.) aktiviert worden, und ist seit Schluß der Aktivierung die Zeit t (in sec.) verstrichen, so ist[1])

$$(1)\quad \begin{cases} \mathfrak{A}' = q'\, e^{-\lambda_1' t}\,(1 - e^{-\lambda_1' \Theta}) \\ \mathfrak{B}' = q' \left[\dfrac{\lambda_2'}{\lambda_2' - \lambda_1'} \cdot e^{-\lambda_1' t}(1 - e^{-\lambda_1' \Theta}) + \dfrac{\lambda_1'}{\lambda_1' - \lambda_2'} \cdot e^{-\lambda_2' t}(1 - e^{-\lambda_2' \Theta})\right] \\ \mathfrak{C}' = q' \left[\dfrac{\lambda_2' \lambda_3'}{(\lambda_1' - \lambda_2')(\lambda_1' - \lambda_3')} \cdot e^{-\lambda_1' t}(1 - e^{-\lambda_1' \Theta}) + \dfrac{\lambda_3' \lambda_1'}{(\lambda_2' - \lambda_3')(\lambda_2' - \lambda_1')} \cdot e^{-\lambda_2' t}(1 - e^{-\lambda_2' \Theta}) \right. \\ \qquad\qquad \left. + \dfrac{\lambda_1' \lambda_2'}{(\lambda_3' - \lambda_1')(\lambda_3' - \lambda_2')} \cdot e^{-\lambda_3' t}(1 - e^{-\lambda_3' \Theta})\right]. \end{cases}$$

„q' bedeutet die Anzahl der zerfallenden Atome jedes Radioelementes, die sich im Zustand des radioaktiven Gleichgewichtes auf dem aktivierten Körper befinden; im Zustand des radioaktiven Gleichgewichtes (d. h. für $\Theta = \infty$ und $t = 0$) muß $\mathfrak{A}' = \mathfrak{B}' = \mathfrak{C}' = q'$ werden.“[2]) Unterscheiden sich die drei Stoffe A', B', C' in der Art und dem Ionisierungsvermögen der von ihnen ausgesandten Strahlen, so haben wir die Ionisation in dem betreffenden Zerstreuungsgefäß zu setzen

$$(2)\qquad I' = k_1' \mathfrak{A}' + k_2' \mathfrak{B}' + k_3' \mathfrak{C}';$$

„k_1', k_2', k_3' sind Proportionalitätsfaktoren, mit denen die Stärke des radioaktiven Prozesses (d. h. die Zahl der zerfallenden Atome) zu multiplizieren ist, um die radioaktive Wirkung (Ionisation im betreffenden Zerstreuungsgefäß) zu erhalten“.[3])

Wir nehmen nun eine zweite und eine dritte Emanationsart an, deren Zerfallsprodukte sich gleichzeitig mit den eben besprochenen Stoffen A', B', C' auf dem aktivierten Draht vorfinden sollen. Machen wir die Annahme, daß entweder die Reihe in beiden Fällen mit dem Glied B aufhört, oder daß ein etwa entstehendes Glied C sehr rasch zerfällt und unter Aussendung von den gleichen Strahlen wie Glied B, so erhalten wir entsprechend den oben eingeführten Bezeichnungen die weiteren Gleichungen:

$$(3)\quad \begin{cases} \mathfrak{A}'' = q''\, e^{-\lambda_1'' t}\,(1 - e^{-\lambda_1'' \Theta}) \\ \mathfrak{B}'' = q'' \left[\dfrac{\lambda_2''}{\lambda_2'' - \lambda_1''}\, e^{-\lambda_1'' t}(1 - e^{-\lambda_1'' \Theta}) + \dfrac{\lambda_1''}{\lambda_1'' - \lambda_2''}\, e^{-\lambda_2'' t}(1 - e^{-\lambda_2'' \Theta})\right] \end{cases}$$

$$(4)\qquad I'' = k_1'' \mathfrak{A}'' + k_2'' \mathfrak{B}''$$

und die entsprechenden für

$$(5)\qquad \mathfrak{A}''', \mathfrak{B}''' \text{ und}$$

[1]) Vgl. H. W. Schmidt, Ann. d. Phys. **21** (4), 609—664, 1906.

[2]) H. W. Schmidt, a. a. O., S. 627.

[3]) H. W. Schmidt, a. a. O., S. 627.

(6) I''', wenn λ_1'', λ_2'', λ_1''', λ_2'''

die in Betracht kommenden Radioaktivitätskonstanten sind.

Damit aber haben wir die Grundgleichungen für den Zerfall radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre, wenn wir von der Annahme ausgehen, daß wir die Zerfallsprodukte der drei radioaktiven Stoffe, die eine Emanation zu bilden vermögen, in der Atmosphäre auch wirklich erwarten dürfen. Denn für Radium kommen als wirksame Ionisatoren in der Luft neben der Emanation die drei ersten Glieder der Niederschlagsreihe in Betracht, die sogenannten „Glieder mit raschem Zerfall". Von Thorium und Aktinium sind bisher überhaupt nur die Glieder bis zum Thorium C bzw. Aktinium C bekannt; wie wir später sehen werden, liegen hier zudem die Verhältnisse tatsächlich so, daß wir bei unseren Rechnungen mit dem Glied Thorium B bzw. Aktinium B abschließen, also die Formeln (3) bis (6) verwenden dürfen.

Was besagen nun diese Formeln für die hier anzuwendende Methode?

1. Die Kurve, die man erhält, wenn man die Änderung der Glieder $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$ mit der Beobachtungszeit t verfolgt von $t = 0$ bis $t = \infty$ bzw. bis zum völligen Verschwinden, ist abhängig von der Expositionszeit Θ, der Zeit, während der der zu aktivierende Körper der Einwirkung der Emanation ausgesetzt war. Der Anfangswert, den man erhält, wenn man die Beobachtungszeit $t = 0$ setzt, kann einen Maximalwert erreichen bei einem bestimmten Wert von Θ, der sich aus den in Betracht kommenden Größen λ in einfacher Weise berechnet. Dieser Wert von Θ ist also für die einzelnen hier in Betracht kommenden Substanzen verschieden, je nach dem zugehörigen λ. Da wir es schließlich nach unserer Annahme mit einer Kombination von drei Hauptkurven zu tun haben, so liegt für eine Analyse dieser Kurven der einfachste Fall dann vor, wenn auch für die am langsamsten sich ansammelnde Substanz — das ist hier zugleich die am langsamsten zerfallende — der Maximalwert von Θ eingehalten worden ist. In allen Fällen mit kürzerem Θ ist eine Kurvenform nur dann eindeutig gekennzeichnet, wenn auch das zugehörige Θ, die Aktivierungsdauer, angegeben ist. Man kann also verschiedene Gesamtkurvenformen erhalten je nach der Wahl von Θ. Da es sich hier nun um eine Analyse der Kurven zur Klarlegung ihrer etwaigen Komponenten handelt, so ergibt sich hieraus die Forderung einer Variation der Expositionsdauer Θ zum Zwecke einer Variation der erhaltbaren Kurvenformen. — Dieselbe Forderung ergibt sich, wenn die Berechtigung der Annahmen geprüft werden soll, auf der die Formeln (1) bis (6) aufgebaut sind: Es soll nur das erste Glied, A, primär auf dem zu aktivierenden Körper niedergeschlagen werden, die übrigen sollen sekundär aus A entstehen. Das wird sich zeigen lassen durch Heruntergehen auf möglichst kleine Θ. — Eine Variation der Expositionsdauer fordert drittens die Frage: Kommt keine radioaktive Substanz in meßbarer Menge in der Atmosphäre vor, die noch langsamer abklingt, als die bisher bekannten und hier in Betracht kommenden Stoffe? Das enthält die Forderung, noch über die aus den bekannten λ sich ergebende Maximalaktivierungsdauer hinauszugehen. — Hier ist daher die Expositionszeit variiert worden von vier Sekunden an bis 209 Stunden.

2. Die zu analysierende, aus obigen Formeln errechenbare Kurve kommt zustande durch Abklingung einer Kombination von mehreren radioaktiven Stoffen, die sich infolge der Wirkung eines elektrischen Feldes nach dem zu aktivierenden Körper hinbewegt haben.

Den einzelnen Substanzen muß also eine spezifische Geschwindigkeit im elektrischen Felde zukommen. Ist diese Geschwindigkeit für die einzelnen Stoffe gleich, so hätte dieser Umstand keine Wirkung auf die Kurvenform. Die Größe der Geschwindigkeit, die durch das Feld den Stoffen erteilt wird, hätte nur Bedeutung für die Menge der abgelagerten Substanzen, nicht dagegen für das Verhältnis der einzelnen Komponenten zueinander. Ist diese Geschwindigkeit aber nicht gleich für die drei Substanzen — und das wird man von vornherein als wahrscheinlich annehmen können — so ist also die Kurvenform auch abhängig von der an den zu aktivierenden Körper angelegten Spannung. Es wird sich zeigen lassen, auch experimentell, daß ein um so stärkeres Hervortreten der leichter beweglichen Partikel eintritt, je höher die Spannung gewählt wird. Das Mengenverhältnis der auf einem Draht angesammelten radioaktiven Substanzen verschiedenen Ursprungs und damit die Form der zu erhaltenden Abklingungskurve ist also bis zu einem gewissen Grad eine Funktion der angelegten Spannung, der „Expositionsspannung". Daraus ergibt sich für die hier angestrebten Zwecke die Forderung einer Variation der Expositionsspannung.

3. Weiter ergibt sich hieraus die Forderung, den zu aktivierenden Draht nicht, wie bisher üblich, horizontal, sondern vertikal auszuspannen. In dem elektrischen Felde der Erde repräsentiert dann der Draht von unten nach oben gewissermaßen eine kontinuierliche Variation eines elektrischen Feldes, indem, wie gezeigt werden wird, dieser Leiter im Erdfeld eine Deformation der Potentialflächen herbeiführt, die es bewirkt, daß längs des Drahtes von unten nach oben eine Steigerung des Potentialgefälles eintritt. Und eben das Potentialgefälle beeinflußt wegen der verschiedenen spezifischen Geschwindigkeiten der radioaktiven Substanzen das Verhältnis der abgelagerten Mengen. — Da der Draht eine Länge von über 20 m hatte, so konnte er auch in verschiedene Teile zerlegt, und diese Teile konnten einzeln untersucht werden. Das ermöglichte zugleich, ein Bild über etwaige Verschiedenheiten in dem Gehalte an radioaktiven Substanzen in den untersten Schichten der Atmosphäre zu geben.

4. Die Formeln (2), (4), (6) sagen, daß die Ionisation im Zerstreuungsgefäß — und das ist das, was wir messen, was uns die Kurvenform liefert — sich nicht einfach durch Addition der Glieder $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$, der Menge der jeweils zerfallenden Atome der verschiedenen Substanzen, ergibt; es ist vielmehr z. B.

$$I = k_1 \mathfrak{A} + k_2 \mathfrak{B} + k_3 \mathfrak{C}.$$

Die einzelnen Substanzen senden verschiedene Arten von Strahlen aus, und selbst gleichartige Strahlen, wie z. B. die α-Strahlen von *Ra A* und *Ra C* unterscheiden sich durch ihre Reichweite. Für ein bestimmtes Zerstreuungsgefäß von bestimmter Höhe und bestimmtem Querschnitt sind also zunächst die Größen k festzustellen, wenn man von der Ionisation, d. h. der Kurvenform, auf die Größen $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$, die Zahl der gerade zerfallenden, damit auf die Zahl der überhaupt vorhandenen Atome und damit endlich auf das Verhältnis der einzelnen Größen zueinander schließen will. Mit anderen Worten: die Form der Abklingungskurve und damit unter Umständen das Ergebnis der Analyse ist abhängig von Form und Größe des Zerstreuungsgefäßes, in dem die Abklingung verfolgt wird. Daraus ergibt sich also die Forderung einer experimentellen Bestimmung der Größen k für die jeweilige Versuchsanordnung.[1])

---

[1]) Vgl. H. W. Schmidt, a. a. O., S. 627.

Über die bei den quantitativen Messungen des Gehaltes der Atmosphäre an festen radioaktiven Stoffen angewandte Methode vgl. K. Kurz, Phys. Zs. 9, 177—184, 1908. Diese Messungen mußten auch zum Zweck einer Reduktion der „Aktivierungszahl“ auf absolutes Maß vorgenommen werden.

Wegen der Schwankungen, denen die radioaktiven Stoffe in der Atmosphäre durch meteorologische Faktoren unterworfen sind, ist es schwer, die an verschiedenen Tagen bei verschiedenen Bedingungen, Variation der Expositionszeit, Variation der Expositionsspannung, erhaltenen Resultate direkt miteinander zu vergleichen. Es wurden daher, um diesen Vergleich zu ermöglichen, immer gleichzeitig zwei Drähte exponiert. An dem einen, dem Versuchsdraht, wurden die Variationen vorgenommen; der zweite Draht, der Normaldraht oder Kontrolldraht, wurde bei allen Versuchen bei derselben Spannung dieselbe Zeit aktiviert, konnte also ein relatives Maß für die augenblicklich vorhandene Menge radioaktiver Substanz in der Atmosphäre geben.

Versuchsanordnung.

Ein dünner Kupferdraht von 23,55 m Länge und 0,2 mm Durchmesser in freier Luft vertikal ausgespannt und isoliert befestigt, wird eine bestimmte Zeit auf bestimmtem Potential gehalten, dann rasch auf ein Gestell gewickelt, das als Einsatz in den Zerstreuungsraum eines Blattelektrometers gearbeitet ist. Das Aluminiumblättchen beginnt unter der ionisierenden Wirkung der radioaktiven Stoffe im Zerstreuungsraum zu wandern. Dies Wandern wird beobachtet.

Die Gesamtanordnung wird am einfachsten klar, wenn wir einen Versuch in seinem ganzen Verlauf verfolgen und dabei die in Betracht kommenden Apparate an der betreffenden Stelle besprechen.

a) Ausspannen des Drahtes: Es werden immer gleichzeitig zwei Drähte ausgespannt, ein Untersuchungsdraht und ein Kontrolldraht. An der Brüstung des über 20 m hohen Institutsturmes der Universität Gießen wurden drei starke Bambusrohre von je 7 m Länge in je $2^1/_2$ m Abstand von einander in horizontaler Lage befestigt. Sie ragen ca. 6 m ins Freie, so daß die daran zu befestigenden Drähte auch bei windigem Wetter nicht an die Turmwand anschlagen können, trotzdem der Unterbau des Turmes etwas mehr hervortritt. Die beiden Drähte sollen an den äußeren Stangen befestigt werden, sind also ausgespannt 5 m voneinander entfernt.[1]) Von jeder äußeren Stange geht über Rollen gleitend ein Schnurlauf ohne Ende nach der Mittelstange und von da zur Tiefe bis auf den Erdboden. Soll ein Draht ausgespannt werden, so wird an der Schnur ohne Ende ein Scheringscher Isolierhaken befestigt und an diesem der abgemessene Draht. Haken und Draht werden in die Höhe gezogen; der Draht wird durch ein unten angehängtes geringes Gewicht straff gehalten. Die ganze Einrichtung kann so von unten bedient

---

[1]) Wie aus einer Beobachtung von Eve (A. S. Eve, Phyl. Mag. 10, 98, 1905) hervorgeht, stören sich die beiden Drähte bei dieser Entfernung und der hier angewandten Spannung nicht mehr in ihrem Bereiche.

werden, und Ausspannen und Einholen des Drahtes läßt sich in außerordentlich kurzer Zeit bewerkstelligen.

b) Anlegen der Spannung: Vom unteren Ende des Drahtes geht ein Verbindungsstück zur Spannungsquelle in dem im Erdgeschoß des Turmes gelegenen Beobachtungszimmer. Eine isolierte Durchführung durch den Fensterrahmen mittels eines Elster-Geitelschen Isolierhakens genügt also.[1]) Als Spannungsquelle dient bis zu 500 Volt eine sogenannte Wasserbatterie, deren Spannung ständig mit Hilfe eines Aluminiumblattelektrometers kontrolliert wird. Die Spannungen über 500 bis 4600 Volt liefert eine Whimshurstmaschine, die durch einen Elektromotor getrieben wird. Die Maschine muß viele Stunden lang konstante Spannung geben. Zu diesem Zwecke ist sie vollständig in einen Kasten eingebaut, der durch elektrische Heizung auf konstanter Temperatur gehalten wird. Weiter steht sie in Verbindung mit einer Batterie von fünf großen Leydener Flaschen und mit einem automatischen Potentialregler nach Gray.[2]) Da dieser automatisch arbeitende Regler wirklich für Untersuchungen der vorliegenden Art ausgezeichnete Dienste zu leisten vermag, so sei hier kurz auf seine Konstruktion und Wirkungsweise eingegangen; vgl. Fig. 1 auf Tafel I.

Der nicht geerdete Pol der Maschine ist verbunden mit der kreisrunden Messingscheibe s_1, die eine große Zahl von senkrecht auf ihr stehenden Nadeln n trägt. Den Nadelspitzen gegenüber steht eine zweite gleichgroße Messingscheibe s_2, die beweglich ist und durch Spannen und Entspannen der Feder f in eine bestimmte Stellung zu den Nadelspitzen gebracht werden kann. Oben ist die Scheibe durch das Zwischenstück z isoliert, nach unten trägt sie zum Zwecke der Erdung einen plattenförmigen Ansatz a, der in einen Glastrog mit Glycerin taucht, das durch etwas Chlorcalcium leitend gemacht und mit der Erdleitung verbunden ist.[3]) Zwischen s_1 und s_2 steht eine dritte Messingscheibe s_3, durch die die Nadeln sämtlich leicht gängig hindurchgeführt sind. s_3 kann unabhängig von s_1 vor- und rückwärts geschoben werden, wodurch die wirksame Länge der Nadeln, die ja nichts weiter repräsentieren als eine große Zahl von Spitzennebenschlüssen zur Erde, beliebig variiert werden kann. Auch s_1 samt dem Nadelsystem kann vor- und rückwärts bewegt werden. s_1 und s_3 sitzen nämlich an konaxial geführten Glasstangen, g_1 und g_3, so daß man also beim vollen Lauf der Maschine, ohne eine Störung zu verursachen, s_1 und s_3 gegeneinander und gegen s_2 verschieben kann. Ein ständig eingeschaltetes Hochspannungselektrometer Noackscher Form[4]) zeigt die Spannung an. Man hat es in der Hand, nachdem man durch Verschieben von s_1 und s_2 zunächst eine Roheinstellung gemacht hat, mit Hilfe von s_3 den Elektrometerzeiger auf $^1/_{10}{}^0 = 0{,}2\,^0/_0$ genau einzustellen zum Zwecke der Erreichung einer vorgeschriebenen Spannung.

Die Selbstregulierung erfolgt in dieser Weise: Steigt durch irgend einen Umstand, z. B. Schnellerlaufen des Motors, die Spannung an, so wird sofort die geerdete bewegliche Platte s_2 nach den negativ geladenen Spitzen hingezogen; dabei setzt momentan eine stärkere Ausstrahlung nach der nun genäherten geerdeten Platte ein, das Potential sinkt,

[1]) All diese Einrichtungen sind doppelt zu denken, je einmal für den Untersuchungsdraht und für den Kontrolldraht.

[2]) A. W. Gray, Ann. d. Phys. 15 (4), 602—605, 1904.

[3]) Das Glycerin bildet zugleich das Dämpfungsmittel für die leicht bewegliche Scheibe.

[4]) R. Noack, Sonderhefte der Zs. f. d. phys. und chem. Unterricht, Band II, Heft 1.

und durch die Feder f gezogen entfernt sich s_2 wieder von den Nadelspitzen. Die stärkere Ausstrahlung hört auf, und s_2 sucht die Ruhelage auf, die durch das für die Stellung s_1, s_2, s_3 vorgeschriebene Potential bedingt ist. Sinkt die produzierte Spannung, so wird die Ausstrahlung an den Spitzen n geringer; durch den Zug der Feder f entfernt sich die Platte s_2 weiter von den Spitzen; die Ausstrahlung nimmt noch mehr ab, und das Potential steigt nun solange, bis wieder die richtige Stellung s_1, s_2, s_3 erreicht ist. — Mit dieser Gesamteinrichtung ist es möglich, ein Potential von mehreren Tausend Volt viele Stunden hindurch so konstant zu erhalten, daß keine Schwankung des dauernd eingeschalteten Hochspannungselektrometers zu bemerken ist.

Dieselbe Whimshurstmaschine soll gleichzeitig neben der ersten noch eine zweite, von der ersten verschiedene Spannung liefern für den zweiten Draht, den Kontrolldraht. Zu diesem Zweck ist von dem nicht geerdeten Pol ein Erdschluß durch ein 50 cm langes und 2 cm breites Leinenband gelegt. Mit einem auf diesem gleitenden Laufkontakt kann jede gewünschte Spannung zwischen der Maximalspannung, auf die die Maschine durch den Potentialregler gerade eingestellt ist, und der Spannung Null abgetastet werden, vorausgesetzt, daß der Widerstand dieses Nebenschlusses nicht variiert. 1200 Volt sind als Spannung für den Kontrolldraht gewählt und werden durch ein weiteres ständig eingeschaltetes Hochspannungselektrometer Braunscher Form kontrolliert.

Die Spannung an dem einen oder anderen Draht kann abgenommen und der Draht eingeholt werden, ohne daß am zweiten Draht, der weiter exponiert werden soll, und an der Maschine und der Stellung des Potentialreglers eine Änderung vorgenommen werden muß. Für Spannungen unter 1000 Volt muß überhaupt die betreffende Stelle des Leinenbandes abgetastet werden, da beim Potentialregler an den Nadelspitzen Funkenübergang eintritt, wenn man ihn auf geringere Spannungen als 1000 Volt einstellt.

Ein weiteres Elektrometer, ein Blattelektrometer, ist so aufgestellt, daß eine mit dem Spannungspol der Maschine leitend verbundene kleine Metallkugel über seiner Sonde schwebt. Wird das Elektrometer geladen und nahe der Kugel aufgestellt, so zeigt es die Art der Spannung der Maschine an durch die Änderung des Blättchenausschlags im einen oder anderen Sinn. Solange die Maschine läuft, hat man in dieser Weise eine ständige Kontrolle dafür, daß sich die Maschine nicht „umgesetzt“ hat. Dies „Umsetzen“ trat jedoch während des Laufens der Maschine nie ein, dagegen leicht nach einem Abstellen.

Bei den Untersuchungen, die die Einwirkung des Erdfeldes und die dabei auf dem Draht eintretenden eigentümlichen Verhältnisse klären sollen, bei denen also die Drähte ohne Spannung exponiert wurden, werden sie entweder oben und unten frei endigend gelassen, oder oben und unten isoliert, oder oben und unten geerdet.



Fig. 2.

c) Einholen des Drahtes: Der aktivierte Draht wird aufgespult auf ein Gestell von der in Fig. 2 gezeigten Form. Dies Gestell ist als Aufsatz auf eine Schwungmaschine gearbeitet. Der Draht wird am unteren Ende von der Zuleitung nach der Spannungsquelle abgehakt, an einem der geriffelten Füße des Gestelles eingehakt, die Schwungmaschine in Bewegung gesetzt und der Draht sehr rasch gleichmäßig aufgespult, ohne daß er berührt wird, da die über Rollen gleitende Schnur ohne Ende

durch ein geeignetes Gegengewicht den Draht strafft. Diese kurze Einholungsdauer ist namentlich von Bedeutung bei kurzen Expositionsdauern, bei denen gerade die ersten Minuten der Abklingung beobachtet werden sollen zur Entscheidung der Frage, welche Stoffe primär aus der Luft auf den Draht abgeschieden werden.

d) Elektrometer und Untersuchung des Drahtes: Dies Gestell mit dem aufgespulten Draht ist gleichzeitig als Deckeleinsatz für den Zerstreuungsraum des Untersuchungselektrometers gebaut; die Untersuchung kann daher immer sofort beginnen, die ersten Ablesungen sind $1^1/_2$ bis 2 Minuten nach Abnahme der Spannung von dem Draht gemacht. Als Elektrometer dient ein vom Verfasser schon bei früheren Arbeiten verwandtes Blattelektrometer Schmidtscher Form[1]) mit Mikroskop- und Fadenablesung.[2]) Der zu untersuchende Draht umgibt den Zerstreuungskörper, einen Metallstift von 4,5 cm Länge und 4 mm Dicke in einem Abstand von 2,5 cm. Im Zerstreuungsraum herrscht bei der angewandten Spannung (250—300 Volt) Sättigungsstrom für die durch die radioaktiven Substanzen erzeugten Ionen. Die Kapazität des Elektrometers mit Deckeleinsatz beträgt 5,12 cm; die Fadenablesung gestattet die Ablesung von zehntel Teilen der 100 teiligen Okularskala und damit eines Spannungsrückganges von 0,05 Volt.

Beobachtet wird für die eingebrachte radioaktive Substanz der eintretende Spannungsrückgang in der Zeiteinheit; dieser dient dann zur Berechnung des Sättigungsstromes, den die Substanz in den einzelnen Zeitpunkten ihres Zerfalls zu unterhalten imstande ist. In Abrechnung zu bringen ist bei jeder Beobachtung der „Reststrom", der im Elektrometer fließt, einmal infolge der natürlichen Ionisation der Luft im Zerstreuungsgefäß ohne künstlich hineingebrachte radioaktive Substanz, dann infolge des Elektrizitätsüberganges über die isolierende Stütze. Dieser Reststrom, der vor jedem Versuch neu bestimmt wird, ergibt sich bei normalen Verhältnissen aus einem Spannungsrückgang um einen kleinen Skalenteil in einer halben Stunde zu $i = 5 \times 10^{-7} \frac{\text{E. S. E.}}{\text{sec}}$. Auf einen interessanten zahlenmäßigen Zusammenhang zwischen der Größe dieses Reststromes und der Wirkung der sogenannten „durchdringenden" Strahlung in der Atmosphäre wird später eingegangen werden.

Die Abklingung der auf den Drähten angesammelten Stoffe wird stets solange verfolgt, bis dieser Reststrom stark in Betracht kommt gegenüber dem durch die radioaktiven Stoffe erzeugten Strom. Je nach der Menge und Art dieser Substanzen bei den verschiedenen Versuchsbedingungen konnte die Abklingung bis über 70 Stunden lang verfolgt werden. Die Auswertung des Zahlenmaterials und die Aufstellung der Kurven ist in derselben Weise geschehen wie in der Arbeit von H. W. Schmidt und dem Verf.: Über die Radioaktivität von Quellen in Hessen und Nachbargebieten.[3])

Über die Versuchsanordnung zur quantitativen Bestimmung des Gehaltes der Luft an radioaktiven Stoffen vgl. K. Kurz, Phys. Zs. 9, 177—184, 1908; Phys. Zs. 9, 218—221, 1908.

Zu bemerken wäre schließlich noch, daß der zur Verwendung kommende Kupferdraht metallisch blanke Oberfläche hatte, und daß jeder Draht nur einmal benutzt wurde.

---

[1]) H. W. Schmidt, Phys. Zs. 6, 561, 1905. K. Kurz, Dissertation, Gießen 1907, S. 4; Ann. d. Phys. 24 (4), 897, 1907.

[2]) K. Kurz, Phys. Zs. 7, 375, 1906.

[3]) H. W. Schmidt und K. Kurz, Phys. Zs. 7, 209—224, 1906.

Untersuchungen.

I. Teil.

Über die Natur der radioaktiven Stoffe in der Atmosphäre.

A. Grundlagen einer Analyse der Stoffe.

Die Analyse der auf den Drähten angesammelten radioaktiven Substanzen ist so gedacht, daß versucht werden soll, die Abklingungskurve, die durch die Expositionszeit bestimmt ist, als eine Übereinanderlagerung von drei Komponenten aufzufassen, als Kombination einer Radium-, einer Thorium- und einer Aktiniumkurve. Diese drei mußten identisch sein mit theoretischen Kurven von Radium, Thorium und Aktinium, die man für die gleiche Expositionszeit konstruieren kann, wenn man irgend einen Wert der Abklingungskurve kennt.

Es ist also zunächst zu zeigen, wie man in einfacher Weise die Abklingungskurve für Radium-, Thorium-, Aktiniumniederschläge konstruieren kann, wenn man einen beliebigen Wert kennt, der nicht gerade der Anfangswert zu sein braucht.

Gleichung (2) S. 9 läßt sich auch schreiben

$$I = k' \mathfrak{A} + \mathfrak{B} + k'' \mathfrak{C}, \tag{7}$$

wenn wir durch k_2 dividieren oder $k_2 = 1$ setzen, da es sich zunächst um relative Messungen handelt. Aus demselben Grund setzen wir in Gleichung (1) $q' = 1$ und erhalten nun in I ein relatives Maß für die Ionisierung in dem betreffenden Zerstreuungsgefäß. $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$ geben die zur Zeit t im Zustand des Zerfalls befindlichen Atome der betreffenden einzelnen radioaktiven Stoffe. I ist damit ein Maß für die Gesamtmenge der zur Zeit t im Zustand des Zerfalls befindlichen Atome und damit, da immer innerhalb einer gewissen Zeit derselbe Bruchteil der überhaupt vorhandenen Menge einer radioaktiven Substanz durch Zerfall verschwindet, auch ein Maß für die auf dem Draht vorhandene Menge.

Setzen wir t, die Beobachtungszeit, die Zeit seit Schluß der Aktivierung, $= 0$, so erhalten wir somit den Anfangswert für die abklingende Substanz oder den Wert I_Θ für die nach einer Aktivierungsdauer Θ auf dem Draht angesammelte Substanzmenge. Es ist dann nach (1) und (2) S. 9

$$(8) \qquad I'_\Theta = a'_1 + a'_2 + k''(a'_3 + a'_4 + a'_5) + k' - e^{-\lambda'_1 \Theta}(a'_1 + k'' a'_3 + k') - e^{-\lambda'_2 \Theta}(a'_2 + k'' a'_4) - e^{-\lambda'_3 \Theta} k'' a'_5$$

wenn

$$(9) \qquad \begin{cases} a'_1 = \dfrac{\lambda'_2}{\lambda'_2 - \lambda'_1}, \quad a'_2 = \dfrac{\lambda'_1}{\lambda'_1 - \lambda'_2}, \quad a'_3 = \dfrac{\lambda'_2 \lambda'_3}{(\lambda'_1 - \lambda'_2)(\lambda'_1 - \lambda'_3)}, \\ a'_4 = \dfrac{\lambda'_3 \lambda'_1}{(\lambda'_2 - \lambda'_3)(\lambda'_2 - \lambda'_1)}, \quad a'_5 = \dfrac{\lambda'_1 \lambda'_2}{(\lambda'_3 - \lambda'_1)(\lambda'_3 - \lambda'_2)}. \end{cases}$$

Für den Fall des Radiums sind λ_1, λ_2, λ_3 die Radioaktivitätskonstanten für Ra A, Ra B, Ra C, also

$$\lambda'_1 = 3{,}85 \cdot 10^{-3}\,(\text{sec}^{-1})$$
$$\lambda'_2 = 4{,}33 \cdot 10^{-4}\,(\text{sec}^{-1})$$
$$\lambda'_3 = 5{,}93 \cdot 10^{-4}\,(\text{sec}^{-1}).[1]$$

Die Proportionalitätsfaktoren k', k'', deren Bedeutung oben erörtert ist, sind, wie später gezeigt wird, für das hier angewandte Ionisierungsgefäß gleich 6,0 bzw. 8,0 zu setzen.

Die nach der Abklingungszeit t davon noch vorhandene Menge I'_t verhält sich zu dieser Anfangsmenge I'_Θ

$$(10) \qquad \frac{I'_t}{I'_\Theta} = \frac{M' e^{-\lambda'_1 t} + N' e^{-\lambda'_2 t} + O' e^{-\lambda'_3 t}}{M' + N' + O'}$$

wo

$$(11) \qquad \begin{cases} M' = m'(1 - e^{-\lambda'_1 \Theta}) \\ N' = n'(1 - e^{-\lambda'_2 \Theta}) \\ O' = o'(1 - e^{-\lambda'_3 \Theta}) \\ m' = k' + a'_1 + k'' a'_3 \\ n' = a'_2 + k'' a'_4 \\ o' = k'' a'_5 \qquad \text{ist.} \end{cases}$$

Da I'_Θ für den einzelnen Versuch mit bekanntem Θ eine meßbare Größe, der beobachtete Anfangswert der Ionisierung ist, so erhalten wir

$$(12) \qquad I'_t = \text{constante}' \left[M' e^{-\lambda'_1 t} + N' e^{-\lambda'_2 t} + O' e^{-\lambda'_3 t}\right].$$

Es läßt sich also ein beliebiger Wert I'_t, ein beliebiger Punkt der Abklingungskurve und damit diese selbst berechnen, wenn irgend ein Kurvenpunkt, z. B. I'_Θ, der Anfangswert, gegeben ist.

Noch einfacher gestaltet sich die Sache, wenn wir zur Darstellung der entsprechenden Abklingungskurven bei Thorium und Aktinium übergehen. In der Formel (2)

$$I = k_1 A + k_2 B + k_3 C$$

---

[1]) H. W. Schmidt, a. a. O., S. 628.

können wir setzen $k_1 = 0$, $k_3 = 0$ für Thorium, da der Zerfall von Thor A ohne Aussendung von Strahlen verläuft, Thor C dieselben Strahlen wie Thor B aussendet und so rasch zerfällt, daß wir zur selben Kurvenform kommen, wenn wir annehmen, das von Thor C ausgesandte α-Teilchen gehe noch von Thor B aus. (Der hierdurch bedingte Fehler ist bei den hier in Betracht kommenden Mengen unmerklich, da das Verhältnis der Halbwertszeiten von Thor C und Thor B von der Größenordnung $^1/_{1000}$ ist.) Es ist dann nur darauf zu achten, daß wir nun den Zerfall von Thor B unter der Annahme der Aussendung von zwei α-Teilchen zu betrachten haben. Setzen wir ferner wie oben $k_2 = 1$, so erhalten wir als Anfangsaktivität des in der Zeit Θ angesammelten Thoriumniederschlags:

(13)
$$I''_\Theta = a''_1 (1 - e^{-\lambda''_1 \Theta}) + a''_2 (1 - e^{-\lambda''_2 \Theta}).$$

Hier ist wieder entsprechend

$$a''_1 = \frac{\lambda''_2}{\lambda''_2 - \lambda''_1}, \qquad a''_2 = \frac{\lambda''_1}{\lambda''_1 - \lambda''_2}.$$

Die nach der Abklingungszeit t davon noch vorhandene Substanzmenge I''_t verhält sich zu I''_Θ wie

(14)
$$\frac{I''_t}{I''_\Theta} = \frac{M'' e^{-\lambda''_1 t} + N'' e^{-\lambda''_2 t}}{M'' + N''}$$

wo

$$M'' = a''_1 (1 - e^{-\lambda''_1 \Theta})$$
$$N'' = a''_2 (1 - e^{-\lambda''_2 \Theta}) \quad \text{ist.}$$

Da wieder I''_Θ für einen bestimmten Versuch eine gemessene Größe ist, so erhalten wir für die Konstruktion der Thoriumniederschlagskurve

(15)
$$I''_t = c'' (M'' e^{-\lambda''_1 t} + N'' e^{-\lambda''_2 t}),$$

oder auch

(15a)
$$I''_t = c''_1 (R e^{-\lambda''_1 t} - S e^{-\lambda''_2 t})$$

wo

$$c''_1 = \frac{I''_\Theta}{R - S},$$
$$R = \lambda''_2 (1 - e^{-\lambda''_1 \Theta})$$
$$S = \lambda''_1 (1 - e^{-\lambda''_2 \Theta}) \quad \text{ist.}$$

Hier ist

$$\lambda''_1 = 1{,}816 \cdot 10^{-5} \,(\text{sec}^{-1})$$
$$\lambda''_2 = 1{,}913 \cdot 10^{-4} \,(\text{sec}^{-1})$$ [1])

Die entsprechenden Formeln mit

$$\lambda'''_1 = 3{,}23 \cdot 10^{-4} \,(\text{sec}^{-1})$$
$$\lambda'''_2 = 5{,}38 \cdot 10^{-3} \,(\text{sec}^{-1})$$ [2])

[1]) F. v. Lerch, Wien. Ber. **116** (II a), S. 1450, 1907.

[2]) E. Rutherford, Radioaktive Umwandlungen, S. 165, 1907.

gelten für Aktinium, da wir beim Zerfall der Aktiniumemanation und der entsprechenden Niederschlagsprodukte insofern für unsere Zwecke einen dem Thoriumzerfall analogen Vorgang vor uns haben, als Aktinium C nur β-Strahlen aussendet.

Es ist also möglich, in einfacher Weise aus irgend einem Wert der Abklingungskurve, der, wie gesagt, nicht der Anfangswert zu sein braucht, die Kurve selber zu konstruieren, wenn die Aktivierungsdauer bekannt ist. Eine Variation der Aktivierungsdauer liefert also die Möglichkeit, Kurvenformen von sehr verschiedener Art zu erhalten. Dies gestattet die Verallgemeinerung von Resultaten, die bei einer einzelnen Zerlegung gewonnen sind.

Eine Integration der Formeln (2), (4), (6) über t bei konstanten Θ, von $t = 0$ bis $t = \infty$ würde die Gesamtmenge der auf dem Draht vorhandenen radioaktiven Substanz liefern. Für unsere Zwecke — wir schließen immer von der Ionisation im Zerstreuungsgefäß auf die Menge der momentan zerfallenden Substanz und wollen schließlich einen Zusammenhang zwischen der „Aktivierungszahl" und dem Gehalte der Luft an radioaktiven Stoffen finden — sind jedoch die Formeln (2), (4), (6) und die hier gegebenen Umrechnungen in (12), (15), (15 a) am bequemsten.

B. Die Analyse.

1. Wirkungen einer Variation der Expositionszeit.

Fig. 3 zeigt eine Zusammenstellung von Aufnahmen, die bei einer Variation der Expositionsdauer von 15 sec bis 209 Stunden ausgeführt sind. Eingetragen ist als Abzcisse die Abklingungszeit, als Ordinate der Logarithmus der Aktivität des Drahtes. Die der einzelnen Kurve beigegebene Zeitangabe ist die Aktivierungsdauer. Der Übersicht halber, um die es sich hier zunächst handelt, sind die Drähte nicht mit ihrer wahren, zahlenmäßigen Aktivität eingetragen; die Ordinatenwerte verschiedener Kurven sind also nicht direkt miteinander vergleichbar. Auch der Angabe des Kontrolldrahtes ist noch nicht Rechnung getragen. Es soll hier zunächst die Änderung der Kurven bei einer Änderung der Expositionszeit gezeigt werden.

Wenn wir zunächst die allgemeinen Übereinstimmungen ins Auge fassen, so fallen bei jeder Kurve im wesentlichen drei Teile auf: Ein ausgesprochen steiler Abfall, der um so steiler wird, je kürzer die Expositionszeit ist, eine zweite etwas flachere Partie, die bei vier Stunden Abklingungszeit zu Ende ist, und ein dritter weit flacher verlaufender Teil, der um so ausgeprägter hervortritt, je länger die Expositionszeit war. Der erste Teil verläuft um so steiler, je kürzer die Expositionszeit war, der letzte Teil hat um so früher eine konstante Neigung erreicht, je länger die Expositionszeit gewählt wurde. Bekanntlich schreibt man die beiden ersten Teile im wesentlichen der Abklingung der Radiumniederschläge zu — besser der Abklingung der Niederschläge vom Radiumtypus; der letzte Teil ist der für die Anwesenheit von Thorium charakteristische Kurvenast.

Selbst beim Heruntergehen bis auf eine Expositionszeit von nur 15 sec ist die Anfangshalbwertszeit nie geringer als drei Minuten. Und beim Hinaufgehen mit der Expositionszeit bis auf 209 Stunden steigt die Halbwertszeit nie über ca. 11 Stunden. Diese Tatsache gestattet eine Anzahl von Schlüssen auf die Art und die Mengenverhältnisse der

in der Luft überhaupt vorhandenen radioaktiven Substanzen, sowie auf ihr Verhalten im elektrischen Felde, sobald gezeigt worden ist, in welchem Zusammenhang Expositionszeit und Menge des erhältlichen radioaktiven Niederschlags stehen.

a) Maximalaktivität und Maximalaktivierungsdauer.

I. Auf dem exponierten Draht herrscht radioaktives Gleichgewicht, z. B. für die Zerfallsprodukte des Radiums, wenn die in der Zeiteinheit durch Zerfall verschwindende Menge radioaktiver Substanz gleich ist der in der Zeiteinheit sich neu absetzenden Menge; nach Gleichung (1), wenn

$$\mathfrak{A}' = \mathfrak{B}' = \mathfrak{C}' \quad \text{ist.}$$

Daraus folgt, daß ein Grenzwert, den wir als Maximalaktivität bezeichnen wollen, bei der speziellen Versuchsanordnung, der Länge des Drahtes, der angewandten Spannung, der Menge der in der Atmosphäre augenblicklich überhaupt vorhandenen Substanz erreicht werden kann. Nach Gleichung (8) S. 17 ist diese Maximalaktivität erreicht, wenn

$$(16) \qquad e^{-\lambda_1' \Theta'} (a_1' + k'' a_3' + k') + e^{-\lambda_2' \Theta'} (a_2' + k'' a_4') + e^{-\lambda_3' \Theta'} k'' a_5' = 0 \qquad \text{ist.}$$

Da $\lambda_1' > \lambda_3' > \lambda_2'$, so ist bei der Größe der Koeffizienten der Exponentialfunktionen der Exponent $\lambda_2' \Theta'$ für die Bestimmung von Θ' praktisch der maßgebende. Also

$$(17) \qquad e^{-\lambda_2' \Theta'} (a_2' + k'' a_4') = 0$$

oder praktisch

$$(17\,a) \qquad e^{-\lambda_2' \Theta'} (a_2' + k'' a_4') = {}^1/_{1000}$$

liefert die Zeit Θ', nach deren Ablauf die Maximalaktivität von Radiumzerfallsprodukten auf dem Draht bei unseren Spezialverhältnissen erreicht ist.

$$(18) \qquad \Theta' = \frac{ln\,[1000\,(a_2' + k'' a_4')]}{\lambda_2'}.$$

In gleicher Weise erhalten wir für Thorzerfallsprodukte als maximale Aktivierungsdauer

$$(19) \qquad \Theta'' = \frac{ln(1000 \cdot a_1'')}{\lambda_1''}$$

und für Aktinium

$$(20) \qquad \Theta_1''' = \frac{ln(1000 \cdot a_1''')}{\lambda_1'''}.$$

Das heißt, die auf einem Draht ansammelbare Menge radioaktiver Substanz hat bei den gewählten Versuchsbedingungen einen Wert erreicht, der sich von dem denkbaren Maximalwert nur um 1 ‰ unterscheidet, wenn für

Radium ca. 4½ Stunden, für
Thorium ca. 109½ Stunden, für
Aktinium ca. 6 Stunden

aktiviert worden ist.

Da die vorkommenden Faktoren $a_2' + k'' a_4'$, a_1'', a_1''' ihrem für unsere Versuchsanordnung gültigen Zahlenwerte nach für die Größenordnung dieser maximalen Aktivierungsdauern Θ

ohne größere Bedeutung sind, so können wir allgemein sagen: Eine radioaktive Substanz mit der Radioaktivitätskonstanten λ (in $\sec^{-1}$) hat auf einem zu aktivierenden Körper bis auf $^1/_{1000}$ den Maximalwert erreicht in einer Zeit

$$\Theta = \frac{ln 1000}{\lambda}.$$

Tabelle 1 gibt eine Zusammenstellung der hier in Betracht kommenden Zerfallsprodukte der drei Familien Radium, Thorium, Aktinium mit den zugehörigen Θ.

Tabelle 1.

Substanz	Θ
Ra A	29′ 54″
Ra B	4h 25′ 40″
Ra C	3h 4′ 00″
Th A	109h 35′
Th B	9h 7′ 30″
Th C	ca. 10″
Akt A	5h 55′ 50″
Akt B	21′ 24″
Akt C	50′ 57″

II. Die nach einer beliebigen Aktivierungszeit Θ_1 erreichte Aktivität verhält sich zu der in der Maximalaktivierungszeit Θ (Spalte 2 in Tab. 1) erreichbaren Maximalaktivität im Falle des Radiums wie

$$\frac{I'_{\Theta'_1}}{I'_{\Theta'}} = \frac{c' - e^{-\lambda'_1 \Theta'_1}(a'_1 + k'' a'_3 + k') - e^{-\lambda'_2 \Theta'_1}(a'_2 + k'' a'_4) - e^{-\lambda'_3 \Theta'_1} k'' a'_5}{c'} \tag{21}$$

wo

$$c' = a'_1 + a'_2 + k''(a'_3 + a'_4 + a'_5) + k'. \tag{22}$$

Daraus läßt sich also entweder die Maximalaktivität aus einer speziellen Aktivität berechnen oder einfach, worauf es hier zunächst allein ankommt, das Verhältnis der beiden zueinander angeben.

Für Thor gestalten sich die Verhältnisse einfacher:

$$\frac{I''_{\Theta''_1}}{I''_{\Theta''}} = \frac{c'' - a''_1 e^{-\lambda''_1 \Theta''_1} - a''_2 e^{-\lambda''_2 \Theta''_1}}{c''} \tag{23}$$

wo

$$c'' = a''_1 + a''_2. \tag{24}$$

Eine entsprechende Formel gilt für Aktinium.

Hieraus ergibt sich als Resultat, was wir hier vorweg nehmen wollen, obwohl wir diesen Umstand erst später benötigen: Es ist zur Erkennung der Verhältnisse in der Atmosphäre nicht nötig, einen Draht bis zur Erreichung des radioaktiven Gleichgewichtes zu aktivieren, also wegen des langsam zerfallenden Thorium A nach Tab. 1 bis 109 Stunden.

Da, wie unsere Versuche zeigen und wie aus Fig. 3 ersichtlich, beispielsweise die Thoraktivität schon nach einer Expositionszeit von 30 Minuten über 23 Stunden ihrer Abklingung verfolgt werden kann, so erhält man ein viel besseres Bild bei solch kurzer Expositionszeit, als wenn man 109 Stunden exponieren wollte. Denn bei so langer Exposition treten alle Schwankungen im Vorkommen der einen Substanz zurück zugunsten des Gesamtbildes; man erhält dann nur einen für die ganze, sich über mehrere Tage erstreckende Expositionszeit gültigen Mittelwert. Eine möglichst kurze Expositionszeit in Verbindung mit einer Umrechnung der erhaltenen Werte auf die möglichen Maximalwerte liefert das beste Bild der augenblicklichen Verhältnisse in der Atmosphäre.

b) Ergebnisse sehr langer und sehr kurzer Expositionszeiten.

Fig. 3 zeigt nun, daß eine Erhöhung der Aktivierungsdauer über die durch den langsamen Zerfall von Thorium A bedingte Aktivierungsdauer von 109 Stunden keine Änderung der Kurvenform mehr hervorbringt. Wenn auch aus äußeren Gründen nur bei einem Beispiel über die Aktivierungsdauer von 109 Stunden hinausgegangen ist, so ist doch der Kurvenverlauf bei den hohen Aktivierungszeiten in den späteren Beobachtungszeiten so gut übereinstimmend, daß wir schließen können: Nach einer Aktivierungsdauer von 109 Stunden ist auf dem Draht tatsächlich für alle in der Atmosphäre vorkommenden radioaktiven Stoffe das radioaktive Gleichgewicht erreicht. Daraus folgt, daß in der Atmosphäre keine radioaktive Substanz mit einer Halbwertszeit größer als der des Thorium A existiert, wenigstens nicht in nachweisbarer, d. h. für unsere Versuche in Betracht kommender Menge.

Was besagen andererseits die Kurven für kleine Aktivierungsdauern bis herunter zu wenigen Sekunden? Der rapide Abfall in der ersten Periode der Abklingung zeigt beim Heruntergehen mit der Aktivierungsdauer bis auf 4 Sekunden stets die reine Halbwertszeit von 3 Minuten, die Halbwertszeit von Ra A (vgl. die Fig. 4 und 5 mit 30 Sekunden bzw. 1 Minute Aktivierungsdauer).

Die Anfangsperiode der Abklingung ist also nicht durch Überlagerung einer langsameren Abklingung geändert. Nehmen wir das Beispiel von Fig. 4, so läßt sich aus obigen Formeln berechnen, daß nach 30 Sekunden Aktivierungszeit etwa 12 % des Maximalwertes von Ra A angesammelt sind, und daß etwa 2 % des Maximalwertes von Ra C (auch etwa des Wertes von Ra B) angesammelt wären, wenn auch Ra B und Ra C primär abgeschieden würden, d. h. sich direkt aus der Luft auf den negativ geladenen Draht niedersetzen könnten. Nehmen wir nur die α-Strahlung von Ra A und Ra C als maßgebend für die Ionisierung im Zerstreuungsgefäße an und sehen wir selbst von der verschiedenen Reichweite der beiden α-Strahlenarten ab, so ergibt sich, daß eine starke Beeinflussung der reinen Abklingung von Ra A durch Ra B und Ra C zu beobachten sein müßte. Der Effekt einer Verlangsamung des anfänglichen Steilabfalls mit 3 Minuten als Halbwertszeit müßte hier stark hervortreten, da sich die Halbwertszeiten von Ra A und Ra C etwa wie 1 : 6, die von Ra A und Ra B etwa wie 1 : 9 verhalten. Eine Verlangsamung der Abklingung ist jedoch nicht zu beobachten. Es ist daraus zu schließen, daß von den im Zustand des radioaktiven Gleichgewichts auf dem Draht vorhandenen Substanzen Ra A, Ra B, Ra C nur das erste Glied, Ra A, primär auf den negativ geladenen Draht

niedergeschlagen worden ist, daß dagegen Ra *B*, Ra *C* erst sekundär, auf dem Draht, aus dem hier bereits vorhandenen Ra *A* sich gebildet haben.[1])

Auch eine Verkürzung dieser anfänglichen Halbwertszeit von 3 Minuten ist nicht zu konstatieren. Daraus läßt sich jedoch nicht ableiten, daß nicht etwa das mit einer Halbwertszeit von höchstens 1 Sekunde[2]) abklingende, α-strahlende Thor *C* sich primär auf dem Draht niedergelassen hätte. Denn wenn auch hier bereits nach 10 Sekunden die Maximalaktivität erreicht ist, die stark in Betracht kommen könnte gegenüber der in gleicher Zeit sich ansammelnden Menge Ra *A*, so ist hier der Umstand ausschlaggebend, daß die Halbwertszeit des Thorium *C* von der Größenordnung einer Sekunde ist, so daß man nicht erwarten kann, nach $1^1/_2$ Minuten noch meßbare Mengen vorzufinden; und erst etwa $1^1/_2$ Minuten nach Abnahme der Spannung konnte die Untersuchung des Drahtes beginnen.

Es ist jedoch denkbar, und die Ansicht gewinnt jedenfalls mit den vorstehenden bei Ra *A*, *B*, *C* gefundenen Resultaten an Wahrscheinlichkeit, daß auch hier beim Thorium nur das erste aus der Emanation sich bildende Zerfallsprodukt eine positive Ladung trägt und darum im elektrischen Felde nach dem negativ geladenen Drahte wandert. Die Aussendung eines positiv geladenen α-Teilchens, sei es mit einer Geschwindigkeit, die zur Ionenerzeugung ausreicht wie bei Ra *A*, sei es mit einer nur um etwa 30% geringeren Geschwindigkeit, so daß keine Ionisierung mehr eintreten kann, wie vielleicht bei dem „strahlenlosen" Thor *A* und Aktinium *A*, bedingt dann das Entstehen des negativ geladenen folgenden Zerfallsproduktes. Dieses würde dann im elektrischen Felde an die Anode wandern, wenn es nicht während der Lebensdauer bereits durch Wiedervereinigung mit irgend einem positiv geladenen Masseteilchen, z. B. mit positiven Ionen oder durch Adsorption an Rauch, Staub, Wasserdampf, der es ja bei negativer Ladung mehr ausgesetzt ist als bei positiver, elektrisch neutral geworden ist oder doch in seiner Beweglichkeit so heruntergedrückt, daß es den Kraftlinien unseres Feldes nicht mehr folgt.

Da die Zeit, in der Wiedervereinigung und Adsorption von radioaktiven Zerfallsprodukten stattfinden kann, klein ist gegenüber der Lebensdauer, so ist die Aktivierung eines Drahtes in der freien Atmosphäre wohl folgendermaßen zu denken: Der Draht wird von der gasförmigen Emanation umspült; das in unmittelbarer Nähe des Drahtes entstehende erste Zerfallsprodukt wandert nach der Kathode, setzt sich also auf dem negativ geladenen Drahte ab. — Es ist natürlich durchaus nicht gesagt, daß nicht auch geringe Mengen der übrigen Zerfallsprodukte sich absetzen; vgl. auch H. W. Schmidt, a. a. O., S. 626 Anmerkung und K. Kurz, Dissertation, S. 55, Anmerkung 2, wo darauf hingewiesen wird, daß in einem emanationshaltigen Gefäß auf einem ungeladenen Draht vielleicht auch Ra *B* und Ra *C*, freilich im Vergleich zu Ra *A* in sehr geringen Mengen, niedergeschlagen werden.

Wir können hier also bei der Deutung der Kurven und ihrer Analyse von der Voraussetzung ausgehen, daß nur das erste aus der Emanation entstehende Zerfallsprodukt sich in meßbarer Menge auf dem negativ geladenen Draht niederschlägt. Damit aber

---

[1]) Vgl. auch H. W. Schmidt, a. a. O.

[2]) O. Hahn und L. Meitner, Verh. d. D. Phys. Ges. **11**, 55—62, 1909.

sind die Voraussetzungen erfüllt, unter denen die oben gegebenen Formeln abgeleitet sind. Wir können sie also nebst den aus ihnen gewonnenen Folgerungen unseren weiteren Betrachtungen zugrunde legen.

c) Zerlegung der Abklingungskurven in 3 Komponenten.

α) Abtrennung der Thorkomponente.

An einem Beispiel soll gezeigt werden, wie die Zerlegung der Abklingungskurven, also die Analyse, durchweg ausgeführt wurde.

Fig. 6 zeigt die Abklingung eines Drahtes, der bei einer Spannung von — 4600 Volt 1 Stunde exponiert war. Die 3 Hauptpartieen sind scharf ausgeprägt: Der anfängliche Steilabfall bis $t = 1^1/_2$ Stunden, dann ein langsamerer Abfall bis $t = 4$ Stunden, von da an ein weit flacher verlaufender Schlußteil. Wie schon oben bemerkt, gehören die beiden ersten Teile der Aktivität vom Radiumtypus an, der 3. Teil der Thoraktivität; wir können die beiden ersten Teile also zunächst ausscheiden. Man sieht sofort, — und darauf sei schon hier hingewiesen — welch große Bedeutung der Thoraktivität zukommt, wenn man berücksichtigt, daß nach S. 21 nur etwa $^1/_{50}$ der erreichbaren Maximalthoraktivität nach einer Aktivierungsdauer von 1 Stunde angesammelt ist.

Die Abtrennung der Thorkomponente ist daher zuerst vorzunehmen.

Ist I_Θ die Anfangsaktivität, die nach der Aktivierungszeit Θ erreicht und zu Beginn der Beobachtung, zur Zeit $t = 0$, vorhanden ist, und ist I_t die nach einer Abklingungszeit t noch vorhandene Aktivität, so verhält sich nach Formel (15a) im Falle des Thoriums

$$\frac{I_t}{I_\Theta} = \frac{R \cdot e^{-\lambda_1 t} - S e^{-\lambda_2 t}}{R - S}$$

wo

$$R = \lambda_2 (1 - e^{-\lambda_1 \Theta})$$
$$S = \lambda_1 (1 - e^{-\lambda_2 \Theta}),$$

oder auch

$$\frac{I_t}{I_\Theta} = \frac{T \cdot e^{-\lambda_1 t} - U e^{-\lambda_2 t}}{T - U}$$

wo

$$T = \frac{1 - e^{-\lambda_1 \Theta}}{\lambda_1},$$
$$U = \frac{1 - e^{-\lambda_2 \Theta}}{\lambda_2} \quad \text{ist.}$$

Für den vorliegenden Fall haben wir aber

$\lambda_1 = 1{,}816 \cdot 10^{-5}$ (sec^{-1})
$\lambda_2 = 1{,}913 \cdot 10^{-4}$ (sec^{-1})
Θ = Aktivierungsdauer = 3600 sec und
I_Θ, die Anfangsaktivität wollen wir = 100 setzen. Dann wird
$T = 3484{,}8$,
$U = 2602{,}0$ und

$$I_t = 100 \cdot \frac{3484{,}8\, e^{-\lambda_1 t} - 2602{,}0\, e^{-\lambda_2 t}}{882{,}8}. \tag{25}$$

Mißt man in Fig. 6 I_t für ein beliebiges t, z. B. für $t = 6$ Stunden, und berechnet man mit (25) weitere Werte für $t = 7, 8, 9 \ldots$ Stunden, so findet man, daß berechnete und beobachtete Punkte auf derselben Kurve liegen, die sich damit als Abklingungskurve des Thoriumniederschlags erweist.

Die Thorkurve ist nun von der Hauptkurve zu subtrahieren. Zu diesem Zwecke wird der Anfangswert, Wert für $t = 0$, aus den abgemessenen Werten bei $t = 6$ Stunden, 8, 10 . . . Stunden gesucht und nun der genaue Verlauf der Thorkurve in den ersten vier Stunden der Abklingung berechnet. Es wird also eine Art „Rückscherung" vorgenommen.

Tabelle 2.

Thorium; 1^h Aktivierung	
Abklingungszeit in Min.	Aktivität
0	100,00
15	140,24
30	170,27
60	221,72
120	272,00
150	282,53
180	287,13
210	287,55
240	285,85
300	275,25
360	262,04
420	247,42
480	232,80
600	204,99
660	192,17
1320	93,69

Tabelle 2 gibt eine solche Berechnung, Fig. 7 zeigt für die ersten vier Stunden die konstruierte Thorkurve a und die beobachtete Kurve b, von der sie abzuzählen ist. Für jeden beobachteten Wert dieser Kurve b wird aus der 10 fach vergrößerten Thorkurve c der betreffende Wert für die Thoraktivität abgelesen und in Abrechnung gebracht. Fig. 8, Kurve a zeigt das Ergebnis dieser Subtraktion. Der so erhaltene Thoranteil ist nun noch abhängig von der Expositionszeit des Drahtes. Damit er mit anderen Angaben vergleichbar ist und ein Bild des Zustandes der Atmosphäre während der Expositionsdauer zu geben vermag, ist nun mit Hilfe von Formel (23) und (24) berechnet, welche Höhe er erreicht hätte, wenn der Draht bis zur Maximalaktivierungszeit, 109 Stunden für $^{999}/_{1000}$, exponiert worden wäre.

β) Abtrennung der Aktiniumkomponente.

Kurve a in Fig. 8, der nach Abzug der Thoraktivität verbleibende Rest, zeigt eine Gesamtabklingungszeit von etwa 4 Stunden. Das heißt, nach Verlauf dieser Zeit ist die Aktivität praktisch gleich Null geworden. Kurve a ist nun noch aufzufassen als eine

Kombination einer Abklingungskurve von Radiumzerfallsprodukten mit einer von Aktiniumzerfallsprodukten. Die Abtrennung des Aktiniumanteils kann nicht mit solcher Sicherheit vorgenommen werden, wie die Subtraktion der Thorkomponente, da eben Radium- und Aktiniumniederschläge gleichermaßen nach etwa 4 Stunden verschwunden sind.

Zur Konstruktion der Radium- und Aktiniumkurven dienen die Gleichungen (10) und (15) bzw. (15a). Fassen wir den Wert für $t = 5$ Minuten in Kurve a, der experimentell erhaltenen Kurve, als herrührend von reinen Radiumzerfallsprodukten auf, so liefert er uns in seiner Abklingung die Kurve b; berechnen wir aus diesem Verlauf der Kurve ihren Anfangswert, den Wert für $t = 0$, und fassen wir nun diesen als allein herrührend von Aktiniumzerfallsprodukten auf, so erhalten wir Kurve c. Man sieht, daß sich die Ordinaten der experimentell erhaltenen Kurve a in der Form darstellen lassen

$$Y_a = m y_b + n y_c = m y_{\mathrm{Ra}} + n y_{\mathrm{Akt}},$$

wann y_{Ra} und y_{Akt} die Ordinaten der vom gleichen Anfangswert aus konstruierten Radium- bzw. Aktiniumkurven sind. Es ist also Kurve a als eine Summation einer Kurve vom Typus b und einer solchen vom Typus c aufzufassen. Der Haupttypus freilich ist der der Radiumkurve; darüber gelagert hat sich die Wirkung einer in den ersten Zeiten des Zerfalls langsamer abklingenden Substanz, die bei den hier in Betracht kommenden Möglichkeiten eben nur Aktinium sein kann.

Schon aus der Abweichung in den mittleren Partieen läßt sich erkennen, daß der Prozentgehalt der Kurve an Aktiniumzerfallsprodukten kein bedeutender ist. Aus dieser Abweichung ist zunächst in erster Annäherung ausgemessen, welche Zusammensetzung von Radium und Aktinium die beobachtete Kurve ergeben könnte. Die entsprechende Kombinationskurve wird gemäß Formeln (10) und (15a) konstruiert und zur Deckung gebracht mit der beobachteten Kurve. Eine eventuell noch vorhandene Abweichung liefert eine zweite Korrektion und damit dann die beiden Kurven für Radium und Aktinium, die in ihrer Kombination die beobachtete Kurve ergeben. In Fig. 9 ist die ausgezeichnete Kurve eine solche Kombinationskurve aus 100 Teilen Radiumzerfallsprodukten und 2 Teilen Aktiniumzerfallsprodukten und zwar für das in den vorhergehenden Figuren behandelte Beispiel. Die eingezeichneten Kreuze sind die beobachteten Werte, die in Fig. 7 durch Abziehen der Thorkomponente erhalten wurden. Man sieht, die Übereinstimmung zwischen beobachteten und berechneten Werten ist vollkommen.

An dem vorliegenden Beispiele ist also gezeigt worden, daß die radioaktiven Substanzen, die sich in der Atmosphäre während der Versuchszeit auf dem Drahte abgesetzt haben, sich zerlegen lassen in drei Komponenten: Radium-, Thorium- und Aktiniumzerfallsprodukte.

Eine Deutung der Abklingungskurven in diesem Sinn ist möglich, wenn man einmal für jede Aktivierungsdauer gesondert die Zahlenwerte der in den Formeln (8) bis (15) vorkommenden Größen ermittelt, zweitens für das Ionisierungsgefäß, mit dem gearbeitet wird, die Faktoren bestimmt, mit denen die Zahl der zerfallenden Atome der einzelnen Substanzen, also die Stärke des radioaktiven Prozesses, zu multiplizieren ist, wenn die Ionisation im Ionisierungsgefäß als Maß für die vorhandene Menge gedient hat. In der angewandten Formel

$$I = k_2 (k' A + B + k'' C)$$

handelt es sich um die Größen k' und k'', da wir $k_2 = 1$ setzen können, wie oben gezeigt wurde. k' ist für das hier benutzte Elektrometer = 6,0, k'' = 8,0.[1])

Da es sich in dem eben behandelten Beispiel um eine Aktivierungsdauer von 1 Stunde handelt, so kann man auch wieder für den Radium- und für den Aktiniumanteil aus dem jetzt bekannten Anfangswert den Maximalbetrag berechnen, der nach Formel (21) bis (24) bei einer Exposition während der Maximalaktivierungsdauer erreicht worden wäre.

Eine Durchrechnung der ganzen oben gegebenen Analyse auf Maximalaktivität führt dann zu folgendem Resultat: Setzt man die Aktivität der auf dem negativ geladenen Draht abgesetzten Radiumzerfallsprodukte = 100,0 so ist die Aktivität der Thoriumzerfallsprodukte = 24,3, die der Aktiniumzerfallsprodukte = 2,0 zu setzen.

In gleicher Weise ist nun das gesamte vorliegende Beobachtungsmaterial analysiert und auf Maximalaktivitäten umgerechnet worden. Als Hauptresultat bei unserer speziellen Versuchsanordnung wurde dann erhalten: Setzt man den Durchschnittswert der auf einem negativ geladenen Draht aus der Atmosphäre sich ansammelnden Radiumzerfallsprodukte = 100,0 so hat man die Thoriumzerfallsprodukte = 24,2, die der Aktiniumzerfallsprodukte = 3,2 zu setzen.

Man sieht einmal daraus, welche wichtige Rolle die Thoriumzerfallsprodukte in der ganzen Erscheinung spielen, zweitens, wie stark die Zerfallsprodukte der kurzlebigen Aktiniumemanation gegenüber den beiden anderen Komponenten zurücktreten. Nur eine in vorstehender Weise durchgeführte Analyse der Abklingungskurven vermochte daher ihre Gegenwart zu verraten.[2])

Es wäre nun verfehlt, wollte man diese auf dem Draht gefundenen Verhältnisse ohne weiteres als die in der Atmosphäre ganz allgemein herrschenden Verhältnisse ansehen, wollte man sagen, die festen Zerfallsprodukte von Radium, Thorium, Aktinium beteiligen sich an der Ionisation der Atmosphäre im Verhältnis 100 : 24 : 3. Die Form der Abklingungskurven und damit das Ergebnis der Analyse in Bezug auf die Größenverhältnisse der drei Komponenten ist nicht nur eine Funktion der Expositionszeit, sondern auch der Expositionsspannung, der Spannung, die an den Draht während der Expositionszeit angelegt war. Ehe also an eine Diskussion der erhaltenen Resultate im Zusammenhang mit anderen Daten und namentlich an eine Anwendung auf das Gebiet der Luftelektrizität herangetreten werden kann, ist zunächst dieser bisher gänzlich vernachlässigte Faktor zu untersuchen.

2. Wirkungen einer Variation der Expositionsspannung.

a) Auf die absolute Menge abgeschiedener Substanz.

Bei den Versuchen, die nach der von Elster und Geitel angegebenen Methode unternommen wurden, ist anfangs mit der Voraussetzung gearbeitet worden,[3]) daß man von der Höhe der an den Draht anzulegenden Spannung unabhängig sei, sobald man etwa

[1]) Vgl. H. W. Schmidt, a. a. O., S. 661; denn das hier benutzte Elektrometer ist von der gleichen Art und den gleichen Dimensionen wie das von H. W. Schmidt in dieser Arbeit benutzte Instrument. Ich konnte daher unmittelbar seine Eichwerte benutzen, für die auch in der zitierten Arbeit die Methode der Gewinnung gegeben ist.

[2]) Vermutet wurde sie bereits von Jaufmann (l. c.).

[3]) Elster und Geitel, Phys. Zeitschr. 4, 96, 1902.

— 2500 Volt nehme; d. h. bei der Spannung — 2500 Volt müßte ein Grenzzustand erreicht sein.

Einmal läßt sich experimentell zeigen, daß dies in Strenge nicht zutrifft; weiter ist ein derartiger Grenzzustand unverständlich, wenn man sich den Vorgang der Aktivierung eines Drahtes in freier Atmosphäre klar macht. Die Substanzen lassen sich nur deshalb auf dem Draht nieder, weil ihnen eine spezifische Wanderungsgeschwindigkeit eigen ist; d. h. die Stoffe erhalten in einem elektrischen Felde die Fähigkeit, in der Richtung der Kraftlinien zu wandern. Diese Geschwindigkeit wird um so größer, je stärker das Feld, d. h. je höher die Spannung des Aktivierungsdrahtes gewählt ist. Dann wird auch der Luftbereich, der Luftzylinder, aus dem die Stoffe nach dem axial verlaufenden Draht hinwandern, um so größer, je höher die Spannung. Und da wir in freier Atmosphäre, nicht in einem begrenzten Raum arbeiten, so wird die Erscheinung des Sättigungsstromes, also eines Grenzzustandes, niemals eintreten können.

Experimentell ließ sich das in doppelter Weise zeigen. Die Spannung wurde variiert von 0 bis — 4600 Volt. Tab. 3 und Fig. 10 (auf Taf. IV) geben die Resultate.

Tabelle 3.

Spannung	Aktivität
— 100 Volt	43,7
— 200 „	64,3
— 600 „	95,1
— 1200 „	488,8
— 3000 „	919,7
— 4000 „	1140,4
— 4600 „	1321,8

Als Abzeisse ist eingetragen die Spannung, als Ordinate die angesammelte Substanzmenge. Der Zustand der Sättigung ist nicht erreicht, der Punkt — 2500 Volt ist also in keiner Weise als Grenzpunkt berechtigt.

Natürlich sind die hier verwendeten Kurvenwerte für eine bestimmte Spannung Mittelwerte aus einer größeren Zahl von Aufnahmen. Die einzelnen Aufnahmen sind sehr großen Schwankungen infolge der sonstigen Verhältnisse in der Atmosphäre unterworfen. Um von diesen Schwankungen unabhängig zu sein, also zu gleicher Zeit an derselben Stelle Aufnahmen bei verschiedener Spannung machen zu können, wurden dann die Drähte im Erdfeld aktiviert und zwar in senkrechter Stellung. Fig. 11 gibt die ungefähre Störung der Potentialflächen durch einen unten geerdeten, senkrecht stehenden Draht.[1]) Da die Potentialflächen nach der Spitze des Drahtes hin stark zusammengedrängt werden, so ergibt sich eine Zunahme des Potentialgradienten, des Potentialgefälles längs des Drahtes von unten nach oben. Da jedem der radioaktiven Zerfallsprodukte eine spezifische Wanderungs-

[1]) Man könnte natürlich diese Störung nach einer Arbeit von Benndorf (Wien. Ber. **115**, IIa, 425, 1906) genau konstruieren; uns kommt es aber hier nur auf die aus der Störung resultierende Kraftlinienrichtung an.

geschwindigkeit zukommt, so erhalten sie in einem elektrischen Felde eine dieser Konstanten entsprechende Geschwindigkeit. Es verhält sich also der Draht in seinen einzelnen Teilen diesen Substanzen gegenüber von unten nach oben wie eine Aufeinanderfolge von verschieden hochgeladenen Drähten. Wegen der Richtung des normalen Erdfeldes repräsentiert der Draht einen negativ geladenen Körper, dessen Ladung von unten nach oben zunimmt. Erdet man den Draht unten nicht, so verhält sich schon allein durch die Influenzwirkung der negativ geladenen Erde der Draht wie ein Körper, dessen negative Ladung nach der Spitze hin zunimmt. Tab. 4 gibt Resultate aus dieser Untersuchungsreihe. Es ist immer die Aktivität im untersten Teil = 1 gesetzt. Der Einfluß der speziellen

Tabelle 4.

a) Untersuchung des Drahtes in 2 Teilen

Aktivierungsdauer	Aktivität der unteren Hälfte	Aktivität der oberen Hälfte	Befestigungsart
32^h	1	8,3	Unten isoliert
$42^1/_4{}^h$	1	5,9	Unten isoliert
47^h	1	6,2	Unten geerdet

b) Untersuchung des Drahtes in 3 Teilen

Aktivierungsdauer	Aktivität des unteren Drittels	Aktivität des mittleren Drittels	Aktivität des oberen Drittels	Befestigungsart
60^h	1	3,9	12,0	Unten isoliert
209^h	1	5,0	8,4	Unten geerdet

Einordnung des Drahtes, die aus der letzten Rubrik hervorgeht, soll später bei einem zweiten hier beobachteten Effekt besprochen werden. Die Untersuchung wurde in der Weise geführt, daß der Draht beim Einholen an vorher bezeichneten Stellen abgeteilt, jeder Teil auf ein besonderes Gestell gewickelt und untersucht wurde.

Da es denkbar wäre, daß infolge der Aufwärtsbewegung der Luftströmungen die höher gelegenen Schichten der Atmosphäre reicher an radioaktiven Stoffen sind, so wurden auch Drähte, die bei hoher Spannung aktiviert waren, in ihren verschiedenen Teilen gesondert untersucht. Tab. 5 zeigt, daß der Effekt des Anstiegs von unten nach oben lange nicht in dem Maße auftritt wie bei ungeladenen Drähten. Eine geringe Steigerung mit der Höhe ist selbst bei dem auf — 4600 Volt geladenen Draht zu bemerken. Die Steigerung hat ihre Ursache eben darin, daß sich dem durch Anlegen der Spannung dem Draht aufgezwungenen elektrischen Felde die Wirkung des Erdfeldes überlagert. Auf diese Verhältnisse kommen wir später noch eingehender zu sprechen.

Tabelle 5.

Spannung	Aktivität		
	Untere Hälfte	Obere Hälfte	
— 100 Volt	1	3,45	
— 100 „	1	3,24	
— 100 „	1	1,45	
— 3000 „	1	1,06	
— 4000 „	1	1,05	
— 4600 „	1 (unteres Drittel)	1,08 (mittleres Drittel)	1,16 (oberes Drittel)

Wir können also sagen, daß für die Menge der auf einem Draht sich ablagernden radioaktiven Substanzen außer dem Gehalt der Luft an solchen Stoffen die Versuchsanordnung, d. h. hier, die Höhe der angelegten Spannung der maßgebende Faktor ist.

b) Wirkung einer Variation der Expositionsspannung auf das Verhältnis Radium : Thorium : Aktinium.

Wichtiger als dieses Ergebnis ist die Frage nach der Abhängigkeit der Kurvenform für die Abklingung von der Versuchsanordnung, also von der bei der Ansammlung angewandten Spannung. Es läßt sich nämlich zeigen, daß auch das Verhältnis der Aktivitäten der drei Komponenten, Radium, Thorium, Aktinium, — und das ist doch eben das, was immer gemessen wird — in weitem Maße lediglich wiederum eine Funktion der bei der Aktivierung des Drahtes angewandten Spannung ist.

Betrachten wir unsere bei der Variation der Expositionsspannung erhaltenen Resultate, so fällt ohne weiteres folgendes auf: Trotz intensiver Schwankungen in den einzelnen Verhältnissen wurde der höchste Anteil an Thor im Vergleich zu Radium gefunden bei der niedrigsten unter den angewandten Spannungen: nämlich 62,4 Teile Thorium und 100 Teile Radium, Thoriumaktivität also 62,4 % der Radiumaktivität; der geringste Anteil an Thor im Vergleich zu Radium bei der höchsten unter den angewandten Spannungen: nämlich 2,6 Teile Thorium und 100 Teile Radium, Thoraktivität also 2,6 % der Radiumaktivität. — Daß hier meteorologische und sonstige Verhältnisse in der Atmosphäre, die natürlich mitspielen können, nicht die ausschlaggebende Ursache sind, läßt sich experimentell einwandfrei zeigen, sobald der Grund des ganzen Effektes erkannt ist.

Die Aktivierung des Drahtes hat, wie schon mehrfach erwähnt, ihren Grund in der Eigenschaft der radioaktiven Zerfallsprodukte, daß sie durch eine für jedes Produkt besondere spezifische Geschwindigkeit ausgezeichnet sind, ausgedrückt in cm/sec für ein Feld mit 1 Volt/cm Gefälle. Das Verhältnis, in dem sich zwei vorhandene radioaktive Substanzen auf dem Draht niederlassen, ist also nur dann unabhängig von der Höhe der angelegten Spannung, wenn die beiden Substanzen gleiche spezifische Geschwindigkeit haben. Kommt jedoch beiden Substanzen eine verschiedene spezifische Geschwindigkeit zu, so verschiebt sich bei einer Steigerung der Spannung das Verhältnis zugunsten der leichter beweglichen Substanz; d. h. die Substanz mit der geringeren spezifischen Geschwindigkeit tritt im Verhältnis zu der leichter beweglichen immer mehr zurück. Bei

einer Abnahme der Spannung vollzieht sich dementprechend das umgekehrte: die schwerer bewegliche Substanz tritt stärker herhor, das Verhältnis der abgelagerten Mengen verschiebt sich zu ungunsten der Substanz mit der größeren spezifischen Geschwindigkeit. Wir haben hier einen analogen Fall zu der bereits behandelten Erscheinung einer Variation der Unipolarität bei zwei Ionenarten von verschiedener Beweglichkeit:[1]) Die Unipolarität, das Hervortreten der einen Ionenart vor die andere, wird um so größer, je stärker das gewählte Feld, um so geringer, je schwächer das gewählte Feld. Ein erreichbarer Grenzzustand ist hier bedingt durch das Verhältnis der Beweglichkeiten der beiden Ionnenarten.

Nun kann man von vornherein als wahrscheinlich annehmen, daß den verschiedenen radioaktiven Zerfallsprodukten, vor allem den Radium- und Thorniederschlägen (die geringe Aktiniummenge wollen wir als zum Radiumtypus gehörend ansehen), im elektrischen Felde nicht gleiche Geschwindigkeiten zukommen, da sie sich in allen übrigen Eigenschaften, Lebensdauer, Art der ausgesandten Strahlen, stark unterscheiden. Nehmen wir einmal an, die Thorzerfallsprodukte hätten eine geringere Beweglichkeit, eine geringere spezifische Geschwindigkeit, als die Radiumzerfallsprodukte. Dann würde aus obigem folgen, daß das Verhältnis der Radium- und Thoraktivitäten auf einem aktivierten Draht eine Funktion der angelegten Spannung ist, derart, daß die Thoraktivität im Vergleich mit der Radiumaktivität zurücktritt bei einer Steigerung der Spannung, daß sie aber mehr und mehr hervortritt bei einer Erniedrigung der Spannung. Zu beachten ist, daß selbstverständlich die absolute Menge abgelagerter Substanz für beide Stoffe steigt mit zunehmender Spannung, daß aber das Verhältnis beider Mengen zueinander in dem angegebenen Sinn sich mit variierender Spannung ändert.

Der experimentelle Nachweis läßt sich mit Hilfe der im Erdfeld senkrecht ausgespannten Drähte führen, die ohne künstliche Spannung aktiviert wurden. Zu erwarten ist nach den obigen Überlegungen, daß das Verhältnis von Thoriummenge zu Radiummenge auf dem Drahte von unten nach oben sich stetig in dem Sinne ändert, daß die Thoriumaktivität mit der Höhe im Verhältnis zur Radiumaktivität kleiner wird, da das Potentialgefälle längs des Drahtes steigt. Tab. 6 zeigt das Resultat einer Reihe in dieser Weise vorgenommener Untersuchungen. Es ist jedesmal die Thor- und die Radium-

Tabelle 6.

Beispiel	a) Untersuchung in 2 Teilen	
	Verh. der Ra-aktivitäten	Verh. der Thor-aktivitäten
1	1,0 : 7,8	1,0 : $2,6_5$
2	1,0 : $7,2_4$	1,0 : $3,8_1$
	b) Untersuchung in 3 Teilen	
3	1,0 : $4,9_4$: 15,9	1,0 : $1,3_9$: $3,0_1$
4	1,0 : 6,1 : 10,7	1,0 : $2,1_3$: 2,7

[1]) L. Heis, Phys. Zeitschr. 9, 620, 1908.

aktivität im untersten Teil des wieder in mehreren Teilen untersuchten Drahtes = 1 gesetzt. Die Tabelle zeigt klar das viel intensivere Ansteigen der Radiumaktivität mit der Höhe, woraus zunächst qualitativ zu schließen ist, daß den Radiumzerfallsprodukten im elektrischen Felde eine größere spezifische Geschwindigkeit zukommt als den Thoriumzerfallsprodukten.

Wegen des raschen Zerfalls der Thoremanation im Vergleich zu der des Radiums könnte freilich gerade diese Erscheinung ihre Ursache in einer rascheren Abnahme der Thoraktivität als der Radiumaktivität mit der Höhe haben. Tab. 7 gibt daher die Resultate von Versuchen, bei denen dem Draht eine hohe negative Spannung aufgezwungen war. Es zeigt sich, daß nun der gesuchte Effekt in den verschiedenen Partien des Drahtes nicht auftritt, Radium und Thorium zeigen nahezu gleiche Mengenverhältnisse auf den verschiedenen Teilen.

Tabelle 7.

Spannung	Verh. der Ra-aktivitäten auf verschiedenen Teilen	Verh. der Thoraktivitäten auf verschiedenen Teilen
— 3000 Volt	1,00 : 0,98	1,00 : 1,30
— 4000 „	1,00 : 1,00	1,00 : 1,20
— 4600 „	1,00 : 1,09 : 1,16	1,00 : 1,08 : 1,16 (3 Teile)

Hieraus folgt also einmal, daß die Thoriumteilchen als schwerer beweglich anzusehen sind als die Radiumteilchen, zweitens, und das ist das wichtigste: Eine Angabe des Verhältnisses der Aktivitäten von Radium zu Thorium in der bisher üblichen Weise ist nicht gestattet. Dies Verhältnis ist eine Funktion der Spannung des zu aktivierenden Drahtes; die Thoriumaktivität tritt gegenüber der Radiumaktivität um so mehr zurück, je höher die Aktivierungsspannung gewählt wird.

Aus dem Beobachtungsmaterial anderer Forscher sei hier zunächst nur ein Beispiel angeführt, das den Punkt, worauf es ankommt, klar beleuchtet. Dadourian[1]) schließt, daß die Atmosphäre von Rom „jedenfalls" viel reicher an Thoremanation sei, als die von New-Haven in Nordamerika, da in Rom[2]) die aktivierten Drähte im Mittel 60 %, in New-Haven nur 25 % der Gasamtaktivität als Thoraktivität zeigten. Daß dieser Schluß nicht einwandfrei ist, erkennen wir sofort, wenn wir sehen, daß in Rom als Spannungsquelle eine Akkumulatorenbatterie von 500 Volt, in New-Haven eine Whimshurstmaschine mit 2 mm Funkenstrecke, also vielleicht 10000 Volt verwandt wurden. Daß sich beide Resultate, das aus Rom und das aus New-Haven, bei Berücksichtigung dieses Umstandes in genügende Übereinstimmung bringen lassen, werden wir später sehen. Jedenfalls genügen schon diese Zahlenangaben im Vergleich mit den oben erhaltenen Resultaten über die Beweglichkeit der Radium- und Thoriumteilchen, um zu zeigen, daß eine derartige Verschiebung des

[1]) H. M. Dadourian, Phys. Zeitschr. 9, 333—337, 1908.

[2]) G. A. Blanc, Phys. Zeitschr. 9, 294—304, 1908.

Verhältnisses der Aktivitäten an zwei Orten mit tatsächlich gleichem Radium- und Thorgehalt als Versuchsresultat auftreten kann.[1])

Wieweit auch bei der Bestimmung des Verhältnisses der Radiumaktivität zur Aktiniumaktivität ein entsprechender Umstand maßgebend ist, ließ sich experimentell in der hier angegebenen Weise nicht feststellen wegen der geringen Aktiniummenge, die überhaupt abgeschieden wurde. Für die Kernfrage des Ganzen, auf die wir schließlich kommen wollen, die Bedeutung der gesamten Vorgänge für die Luftelektrizität, ist dies wegen der untergeordneten Rolle, die das Aktinium darin spielt, ohne Wichtigkeit.

c) Das Verhältnis der spezifischen Geschwindigkeiten.

Ist der eben besprochene Umstand von Interesse schon bei der Deutung und damit der Analyse der Kurvenformen, die man für die Abklingung der an einem bestimmten Orte angesammelten radioaktiven Substanzen erhält, so ist er weiter natürlich von noch größerer Wichtigkeit, wenn man den Versuch macht, aus dem Verhältnis der auf dem Drahte angesammelten radioaktiven Substanzen einen Schluß zu ziehen auf das Verhältnis, in dem sich beide Substanzen in freier Atmosphäre an der Ionisation der Luft beteiligen, wenn man also zu ihrer Bedeutung für den Elektrizitätshaushalt der Atmosphäre übergehen will.

Hat man von einer radioaktiven Substanz die gerade zerfallenden Mengen in der Form der Formeln (1) S. 9 dargestellt, so erhält man lediglich durch Integration über $t = 0$ bis $t = \infty$ die gesamte vorhandene Menge. Sind nun zwei verschiedene radioaktive Substanzen, die durch die Radioaktivitätskonstanten λ und λ' charakterisiert seien, auf einem Draht während der Zeit t angesammelt worden, und hat sich dabei das Aktivitätsverhältnis $\frac{a}{a'}$ herausgebildet, so läßt sich, wie auch schon Blanc gezeigt hat,[2]) das Verhältnis ihrer Ionisationswirkung in der freien Atmosphäre angeben als

$$\frac{I}{I'} = \frac{a}{a'} \cdot \frac{\lambda}{\lambda'} \cdot \frac{v'}{v} \cdot \frac{1-e^{-\lambda' t}}{1-e^{-\lambda t}}. \tag{26}$$

Dabei ist $\frac{v}{v'}$ das Verhältnis der spezifischen Geschwindigkeiten der beiden Substanzen, z. B. der Radium- und Thorzerfallsprodukte, das man also kennen muß, wenn man von dem Verhältnis der gemessenen Aktivitäten $\frac{a}{a'}$ einen Schluß ziehen will auf das Verhältnis der Ionisationswirkung in der Atmosphäre.

Blanc hat sich bei einem Teil seiner Versuche eines Kunstgriffes bedient, wodurch er das Verhältnis $\frac{v}{v'}$ ausschaltete. Er traf die Versuchsanordnung so, daß er aus dem Luftvolumen, mit dem er arbeitete, alle radioaktive Substanz ausfällte.

---

[1]) Während der Niederschrift dieser Versuche weist F. A. Harvey (Phys. Zeitschr. 10, 45—48, 1909) auf die Möglichkeit der Deutung der Widersprüche in den Versuchen von Blanc und Dadourian in der hier bewiesenen Art hin.

[2]) G. A. Blanc, Phys. Zeitschr. 9, 294—304, 1908.

In dem Bestreben, auch das Beobachtungsmaterial anderer Forscher noch zu retten und eine nachträgliche Reduktion zu ermöglichen, habe ich versucht $\frac{v}{v'}$, das Verhältnis der Beweglichkeiten der Radium- und Thorpartikelchen zu ermitteln. Es kann sich dabei nur um einen zwischen weiten Grenzen gültigen Mittelwert handeln, da sowohl den Radium- als auch den Thoriumpartikeln zumal in der freien Atmosphäre nicht je eine einheitliche bestimmte spezifische Geschwindigkeit zukommt; man kann hier nur von einem Durchschnittswert reden. Dies geht auch hervor aus den eingehenden Untersuchungen von Gerdien über die spezifische Geschwindigkeit der atmosphärischen Induktionen.[1]) Leider läßt sich gerade das hier wichtige Verhältnis der Durchschnittsgeschwindigkeiten der Radium- und Thorteilchen diesen eingehenden Beobachtungen nicht entnehmen. Die Aspirationsmethode lieferte nicht genügende Mengen von Thoriumniederschlägen, so daß nur angegeben werden konnte, daß die Thorinduktionen im allgemeinen geringere Geschwindigkeiten aufweisen als die Radiuminduktionen.

Wir wollen annehmen, daß in den 20 m, in denen der im Erdfeld zu aktivierende Draht ausgespannt ist, der Gehalt der Luft an radioaktiver Emanation vom Radiumtypus und auch vom Thortypus ein gleichmäßiger sei. Greifen wir Beispiel 1 aus Tab. 6, S. 31 heraus, so sehen wir, daß durch die Wirkung des sich von unten nach oben steigernden Potentialgefälles auf den beiden Hälften des Drahtes Radiummengen sich niedergelassen haben, die sich verhalten wie 1 : 7,8; die Thormengen verhalten sich wie 1 : 2,65. Daraus ergibt sich, daß die Steigerung des Potentialgefälles von der unteren zur oberen Hälfte auf die Thor- und Radiummengen im Verhältnis 1 : 2,94 eingewirkt hat; die Radiumteilchen werden 2,94 mal so rasch abgeschieden als die Thorteilchen. Das aber bedeutet: in diesem Spezialfall verhielten sich die spezifischen Geschwindigkeiten der Thor- und Radiumteilchen wie 1 : 2,94. Nimmt man den Mittelwert aus sämtlichen vorliegenden Versuchen, so erhält man als Verhältnis der Beweglichkeiten der Thor- und der Radiumzerfallsprodukte 1 : 2,92.

Dies Zahlenverhältnis macht selbstverständlich nicht Anspruch auf große Genauigkeit; es ist nur als ein Durchschnittsverhältnis aufzufassen, da sowohl unter den Radium- wie unter den Thorzerfallsprodukten Geschwindigkeiten vorkommen, die zwischen dem ein- und zehnfachen Betrag schwanken. Es soll lediglich gestatten, nach Formel (26), S. 33 eine Beziehung zwischen dem Verhältnis der Aktivitäten eines Drahtes und dem Verhältnis der in der Luft von den Substanzen bewirkten Ionisationen zu liefern. Dann aber gestattet es, aus dem Beobachtungsmaterial anderer Forscher noch nachträglich dasselbe Verhältnis der Beteiligung von Thor und Radium an der Ionisation der Atmosphäre festzustellen. Nachträglich richtig deuten läßt sich natürlich nur Versuchsmaterial, bei dem die Versuchsbedingungen, z. B. auch die Aktivierungszeit, angegeben sind.

Nach früheren Überlegungen (Formeln (21) bis (24)) wurde bei dem Beobachtungsmaterial anderer Forscher zunächst das nur für die betreffende Aktivierungszeit gültige Verhältnis der Aktivitäten auf das bei Einhaltung der maximalen Aktivierungsdauer erreichbare Verhältnis umgerechnet. Dies Verhältnis wurde dann mit Hilfe des von uns gefundenen Durchschnittswertes für das Verhältnis der Beweglichkeiten beider Substanzen auf

[1]) H. Gerdien, Abh. d. K. Ges. d. Wiss. zu Göttingen, Neue Folge **5**, Nr. 5, 1907.

das Verhältnis der Ionisationswirkungen in der Atmosphäre reduziert. Die Beobachtungen zeigen, daß an den verschiedenen Orten der Erde, an denen seither solche Beobachtungen vorgenommen sind, keine wesentlichen Unterschiede in diesem Verhältnis bestehen, und daß wir zweitens auf diese Weise Übereinstimmungen erhalten mit Untersuchungen, die dies Verhältnis in anderer Weise direkt ermittelt haben:

1. a) Blanc findet in Rom[1]) nach einer Methode, die unabhängig von dem Verhältnis der Wanderungsgeschwindigkeiten ist, daß die Ionisation durch die Produkte vom Thoriumtypus bei drei Versuchen 4,7 %, 6,7 %, 7,2 %, im Mittel also 6,2 % der durch die radioaktiven Stoffe bewirkten Gesamtionisation ausmacht.

b) Bei der Aktivierung von Drähten findet Blanc 40—75 % des Niederschlags als Thorprodukte. Das liefert nach unserer Umrechnung im Mittel für die Ionisationswirkung des Thor: 10,8 %, für den unteren Grenzwert 5,6 %, für den oberen 22,7 %. Die Übereinstimmung zwischen den so aufeinander reduzierten Beobachtungen a und b ist genügend, wenn man bedenkt, welchen Schwankungen das Verhältnis der Beweglichkeiten unterworfen ist.

2. Dadourian findet in New-Haven in Nordamerika,[2]) daß 20—30 % der Anfangsaktivität vom Thoriumtypus ist. Dies liefert als unteren Grenzwert $2,1_8$ % Thorionisation, als oberen Grenzwert 3,7 %.

3. a) Jauffmann[3]) findet bei zweistündiger Exposition 6 % Thoraktivität, das liefert 4,4 % Thorionisation.

b) Eine achtstündige Exposition mit 17 % Thoraktivität auf dem Draht liefert 4,5 % Thorionisation. — Die beiden Versuche von Jauffmann, die auf der Zugspitze angestellt sind, geben gut übereinstimmende Werte mit 4,45 % der Gesamtionisation als Thorwirkung.

4. Bumstead[4]) findet

a) bei dreistündiger Exposition 3—5 % Thoraktivität; dies führt zu 2,12 % Thorionisation,

b) bei zwölfstündiger Exposition 15 % Thoraktivität, was zu 2,89 % Thorionisation führt.

5. a) Gockel[5]) erhält auf dem Brienzer Rothorn bei Aktivierung ohne Spannung und bei heftigem Graupel- und Schneefall 50 % Thoraktivität; das gibt 9,6 % Thorionisation. Die Aktivierungsdauer war hier 29 Stunden.

b) In Freiburg in der Schweiz werden bei zwölfstündiger Exposition und unter Anwendung einer Spannung von — 2000 Volt Thoraktivitäten von 20—60 % gefunden. Der untere Grenzwert liefert 4,04 % Thorionisation, der obere 20,1 %, der Mittelwert 5,6 %. Unterer und oberer Grenzwert sind also bei Blanc und bei Gockel ungefähr gleich. Gockel findet etwas geringere Thorwirkung, da er höhere Spannung anwendet.

---

[1]) G. A. Blanc, a. a. O.
[2]) H. M. Dadourian, a. a. O.
[3]) J. Jauffmann, a. a. O.
[4]) Bumstead, Sill. Journ. 18, 1, 1904.
[5]) A. Gockel, Phys. Zeitschr. 8, 701, 1907.

6. Das Mittel aus meinen zahlreichen in Gießen in Oberhessen angestellten Versuchen ist 2,2 % Thorionisation, ein Wert, der namentlich gut mit den Werten Dadourians in New-Haven in Nordamerika übereinstimmt.

7. Gerdien[1]) beobachtet nach einer durchaus anderen Methode, bei direkter Messung, in Göttingen, als Verhältnis der Ionisationswirkungen von Ra und Th in der freien Atmosphäre in drei Fällen

1. Th = 9,17 % der Gesamtionisation,
2. Th = 16.0 % „ „
3. Th = $20{,}2_5$ % „ „

Werte, die sich den in obiger Weise reduzierten Beobachtungen gut einordnen.

Diese Zusammenstellungen zeigen einmal, daß es in dieser Weise nun möglich ist, das an verschiedenen Stellen der Erde unter verschiedenen Versuchsbedingungen gewonnene Beobachtungsmaterial noch nachträglich zu vergleichen, zweitens, daß sich die Schwankungen in den Extremwerten an den verschiedenen Orten innerhalb derselben Grenzen bewegen, daß also das Verhältnis, in dem Thorzerfallsprodukte und Radiumzerfallsprodukte sich an der Ionisation der Atmosphäre beteiligen, an den in zum Teil in verschiedenen Erdteilen liegenden Beobachtungsorten nicht wesentlich verschieden ist. Das Mittel aus den vorliegenden Messungen gibt etwa 1 : 13.

Betont sei hier nochmals, daß ja selbst bei Kenntnis der Aktivierungsdauer und auch der Wanderungsgeschwindigkeit der Thor- und Radiumteilchen sich zwei Beobachtungen nur dann direkt miteinander vergleichen lassen, wenn die Aufnahmen bei gleicher Aktivierungsspannung angestellt sind. Eine Verschiebung des Verhältnisses beider Aktivitäten tritt immer ein, wenn man die Spannung verändert.

d) Die Einwirkung des Erdfeldes.

Bei der Variation der an den zu aktivierenden Draht angelegten Spannung spielt der Fall der Spannung 0, d. h. die Aktivierung des Drahtes im natürlichen Felde der Erde eine besondere Rolle, wie die oben mitgeteilten Resultate gezeigt haben. Da das Erdfeld nicht nur bei dem ungeladenen sondern auch bei dem negativ geladenen und, worauf es uns hier noch besonders ankommen muß, bei dem positiv geladenen Draht seine Einwirkung ausübt, so ist es von Wichtigkeit, auf diese Verhältnisse genauer einzugehen.

Wir wollen allen Betrachtungen den normalen Fall des Erdfeldes zugrunde legen: Das Potential steigt von der Erde aus nach oben im positiven Sinne an; das Potentialgefälle soll den normalen Betrag von rund 100 Volt pro m haben. Die Länge des zu aktivierenden Drahtes betrage 20 m. Der Draht soll sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Lage aktiviert werden. Für die Richtung, in der die radioaktiven Stoffe im wesentlichen wandern, ist die Richtung der Kraftlinien maßgebend, da die Substanzen nach der Kathode wandern. In der figürlichen Darstellung der Verhältnisse wird daher die Richtung der Kraftlinien in bezug auf den Draht Aufschluß geben können über etwaige verschiedene Aktivierungen der einzelnen Drahtteile.

---

[1]) H. Gerdien, a. a. O.

α) Die Einwirkung des Erdfeldes auf einen ungeladenen Draht.

Die beiden Hauptfälle, die für den senkrecht stehenden ungeladenen Draht vorliegen können, sind durch Fig. 11 und Fig. 12 gegeben: Der Draht kann geerdet oder isoliert sein. Fig. 11 gibt die Störung der Potentialflächen für den geerdeten, Fig. 12 die für den isolierten Draht. Die Richtung der Kraftlinien zeigt sofort, daß in beiden Fällen eine Aktivierung des Drahtes eintreten muß, daß aber auch in beiden Fällen die oberen Partien des Drahtes sich stärker aktivieren als die unteren. Auch die Unterschiede sind ohne weiteres klar: Bei dem isolierten Draht sind für den oberen und unteren Teil die Kraftlinien in bezug auf den Draht direkt entgegengesetzt gerichtet. Daraus folgt, daß die Unterschiede in der Aktivierung zwischen oben und unten beim isolierten Draht stärker ausgeprägt sein müssen als beim geerdeten. Dasselbe lehrt Tab. 4, S. 29. Zweitens: Da es sich in beiden Fällen um dasselbe elektrische Feld, das Feld der Erde, handelt, so ist bei dem geerdeten Draht das Potentialgefälle größer am oberen Ende als bei dem isolierten Draht. In letzterem Falle ist oben eine geringere Zahl von Potentiallinien an der betreffenden Stelle zusammengedrängt. Außerdem gehen die Kraftlinien beim unteren Teil des isolierten Drahtes von diesem weg. Die experimentelle Bestätigung müßte eine größere Durchschnittsaktivität des geerdeten Drahtes liefern und zwar sowohl des ganzen Drahtes als auch namentlich des oberen Teils. Das zeigt klar Tab. 8, S. 37, in der die Aktivitäten von Drähten angegeben sind, von denen 1 und 2, 3 und 4 bei ungefähr gleicher Wetterlage aktiviert wurden. Auch die Abhängigkeit der Unterschiede zwischen oben und unten von der Befestigungsart ist ohne weiteres ersichtlich.

Tabelle 8.

Draht	Aufstellung	Anzahl der Teile	Aktivität der Teile von unten nach oben	Gesamtaktivität
1	geerdet	2	7,7; 47,8	55,5
2	isoliert	2	1,9; 10,3	12,2
3	geerdet	3	10,3; 49,0; 86,9	146,2
4	isoliert	3	4,1; 19,8; 61,6	85,5

Nach diesen Auseinandersetzungen sind Fig. 13 und Fig. 14 ohne weiteres verständlich. Sie geben die Verhältnisse auf einem 10 m über dem Erdboden horizontal ausgespannten Drahte, Fig. 13 auf einem geerdeten, Fig. 14 auf einem isolierten.

Der Verlauf der Kraftlinien zeigt wieder, daß in beiden Fällen eine Aktivierung des Drahtes eintritt, die beim geerdeten Draht wieder größer ist als beim isolierten und zwar wegen der größeren Zahl der zusammengedrängten Potentialflächen. Für die Ablagerung der Substanzen selber wird man sagen können, daß sie sich in größerer Menge an der von der Erde weggewandten Seite ansetzen werden.

β) Die Einwirkung des Erdfeldes auf einen negativ geladenen Draht.

Einfach liegen die Störungsverhältnisse der Potentialflächen bei normalem Erdfeld für den negativ geladenen Draht. Fig. 15 und 16 geben den Verlauf für einen senkrechten und einen horizontalen, beliebig hoch negativ geladenen Draht. Die Wirkung des

Erdfeldes überlagert sich hier einfach der Wirkung des aufgezwungenen künstlichen Feldes. Die Richtung der Kraftlinien, Entfernung der einzelnen Potentialflächen voneinander und vom Draht und die aus beidem resultierende Wanderung der radioaktiven Partikel nach den verschiedenen Teilen des Drahtes sagt also: Ein senkrecht im Erdfeld stehender, auf beliebig hoher negativer Spannung gehaltener Draht muß stets in seinen oberen Partien eine etwas stärkere Aktivität erhalten als in seinen unteren. Die Unterschiede sind selbstverständlich nicht groß und abhängig von der Höhe der angelegten negativen Spannung. Tab. 5, S. 30 zeigt die experimentelle Bestätigung. — Ein horizontal im Erdfeld stehender, auf beliebig hoher negativer Spannung gehaltener Draht muß an seinen beiden Enden gleichermaßen eine etwas höhere spezifische Aktivität annehmen als in der Mitte.

γ) Die Einwirkung des Erdfeldes auf einen positiv geladenen Draht.

Eine interessante Tatsache liefert noch die Untersuchung der Einwirkung des Erdfeldes auf einen positiv geladenen Draht. Fig. 17—22 geben den Verlauf der Potentialflächen und der Kraftlinien für die verschiedenen möglichen Fälle: Vertikale und horizontale Aufstellung, Spannung unter, gleich oder über dem durch Länge und Aufstellung des Drahtes an bevorzugte Stelle gerückten Potentials im Erdfeld: Der Draht zieht die Potentialfläche des Erdfeldes in sich hinein, die der ihm künstlich aufgezwungenen positiven Spannung entspricht. Damit sind die in Fig. 17—22 gegebenen Grundtypen wieder ohne weiteres verständlich.

1. Trotz der Verschiedenheit der Bilder sagen die Fig. 17—19 in gleicher Weise: Oberer und unterer Teil des Drahtes verhalten sich den radioaktiven Stoffen gegenüber verschieden im elektrischen Feld der Erde. Aus Fig. 20—22 folgt: Die von der Erde abgewandte und die der Erde zugewandte Seite des Drahtes verhalten sich verschieden.

2. Jeder positiv geladene Draht, der senkrecht im Erdfeld steht, muß unter der Wirkung des Erdfeldes eine Aktivität annehmen, da er sich bei beliebiger Höhe des künstlichen Potentials in seinem oberen Teil immer gegenüber der Umgebung als Kathode verhält, so daß radioaktive Stoffe von gleicher Art nach ihm hinwandern wie nach einem negativ geladenen Draht.

3. Jeder positiv geladene Draht, der horizontal im Erdfeld steht, verhält sich bei beliebig hoher Spannung an der von der Erde abgewandten Seite der Umgebung gegenüber als Kathode.

Das wirft ein Licht auf die Tatsache der Ansammlung von radioaktiven Stoffen auf positiv geladenen Drähten im Erdfeld. Ich aktivierte rasch hintereinander, an derselben Stelle natürlich, zwei Drähte, den einen bei + 3000 Volt Spannung, den zweiten bei — 3000 Volt. Die Aktivität des ersten betrug 8% der Aktivität des zweiten. Von derselben Größenordnung sind auch die von anderer Seite festgestellten Aktivierungen in der Atmosphäre bei positiver Ladung des Drahtes.[1]) Bildet man nun weiter das Mittel aus meinen sämtlichen ohne angelegte Spannung, also lediglich im Erdfelde erzielten Aktivitäten, und das Mittel aus den bei negativer Ladung des Drahtes erzielten, so ergibt sich: Durch Aktivierung im Erdfeld erhält man im Mittel 7,9% der Aktivität, die man im Mittel bei negativer Ladung des Drahtes zwischen 0 und — 5000 Volt erzielen kann.

---

[1]) Elster und Geitel, Phys. Zeitschr. 4, 97, 1902.

Die Übereinstimmung der beiden bei positiver Spannung und bei der Spannung 0 erhaltenen Werte ist auffallend und sagt: Bei der Aktivierung von Drähten durch positive Ladung ist die Anwesenheit des Erdfeldes von grundlegender Bedeutung. Man kann nicht ohne weiteres schließen, daß die bei positiver Ladung des Drahtes erhältliche Aktivität von negativ geladenen Zerfallsprodukten radioaktiver Stoffe allein herrührt. Es werden sich selbstverständlich auch negativ geladene Zerfallsprodukte auf dem positiv geladenen Draht absetzen, wenn solche existieren. Jedenfalls setzen sich aber auf einem positiv geladenen Draht dieselben Zerfallsprodukte ab, die den radioaktiven Niederschlag auf negativ geladenen Körpern bilden. Der Betrag der Aktivität ist von derselben Größe wie bei ungeladenen Drähten, die im Erdfeld aktiviert werden.

δ) Die Einwirkung des Erdfeldes auf die Leitfähigkeit in unmittelbarer Nähe des Drahtes.

Die eigentümlichen Verhältnisse des Erdfeldes in der Nähe dieser geladenen oder ungeladenen Drähte, die also eine Ablagerung von radioaktiven Stoffen auf Gebilden bewirken, welche eine Änderung der Potentialflächen hervorbringen, führt zu einer Frage, die hier nur kurz behandelt werden soll: Wie weit wird nun auch die Leitfähigkeit der Atmosphäre in der unmittelbaren Nähe von solchen linienförmigen Gebilden geändert, wenn eine Ablagerung von radioaktiven Substanzen auf ihnen und damit eine abnorme Ionisation der Luft in ihrer unmittelbaren Nähe statthat?

Bei einem dauernd senkrecht im Erdfeld stehenden, unten geerdeten Leiter — natürlich gelten entsprechende Überlegungen auch für einen horizontalen geerdeten Leiter — wird offenbar bald ein stationärer Zustand durch Ablagerung radioaktiver Substanzen herbeigeführt, der sich in folgender Weise charakterisieren läßt: Nach einer gewissen Zeit, die sich in früher gegebener Weise berechnen läßt, hat sich auf dem Draht bei dem herrschenden Gehalt der Luft an radioaktiven Stoffen radioaktives Gleichgewicht eingestellt, so daß in der Zeiteinheit durch Zerfall ebensoviel radioaktive Substanz verschwindet, als durch Ablagerung neu hinzukommt. Nehmen wir nun die Reichweite der α-Strahlen dieser Stoffe im Mittel zu 5 cm an, so ist der Draht die Längsachse eines Zylinders von 5 cm Radius, in dem eine erhöhte Ionenbildung stattfindet. Diese Ionenbildung steigt gemäß der Menge der auf dem Draht befindlichen Substanzen von unten nach oben an und hat ihre Maximalstelle an der Spitze des Drahtes. Der Zylinder ist nach außen hin scharf abgegrenzt wegen der die α-Strahlen charakterisierenden Reichweite. Um den Draht herum befindet sich also eine Zone von 5 cm Radius, in der die Leitfähigkeit wegen der erhöhten Ionenbildung größer ist, als weiter draußen in der Atmosphäre. Von der Diffusion der Ionen aus diesem Bereich nach außen wollen wir zunächst einmal absehen. Das Charakteristische ist dann, daß die Leitfähigkeit in dieser Zone gerade um einen durch das radioaktive Gleichgewicht auf dem Draht festgelegten Betrag erhöht ist, und daß sie fast momentan auf den normalen Wert der freien Atmosphäre herabsinkt, sobald man die durch die Reichweite der α-Strahlen gegebene Grenze überschreitet.

Bei unseren Versuchen wurde die radioaktive Substanz nun in den Zerstreuungsraum eines Elektrometers gebracht und ihre Ionisierungsfähigkeit bestimmt. Berechnet man sich nun erstens das Luftvolumen, das die Strahlen in dem Zerstreuungsraum des Elektrometers

ionisieren müssen und daraus die Ionenzahl, die sie in der Zeiteinheit im cm^3 zu bilden vermögen, berechnet man zweitens den Raum, den sie ionisieren müssen, wenn sie sich im Freien auf dem Draht befinden, nimmt man drittens an, daß die natürliche Leitfähigkeit der Luft im Zerstreuungsgefäß sich nicht wesentlich von der Leitfähigkeit der freien Atmosphäre unterscheidet, so ergibt eine Überschlagsrechnung, daß in der dem Draht unmittelbar anliegenden Luftschicht die Leitfähigkeit ca. 20 %—25 % größer ist, als weiter draußen. Dieser Wert gilt für die oberen Partien eines etwa 20 m langen Drahtes und nimmt von oben nach unten ab.

Stangenartige (linienförmige) geerdete Leiter, die im Erdfelde radioaktive Substanzen auf sich ansammeln, haben um sich herum eine Luftschicht in Gestalt eines Zylinders mit einem Radius gleich der Reichweite der α-Strahlen, in der die Leitfähigkeit größer ist als in der freien Atmosphäre. Diese Erhöhung der Leitfähigkeit nimmt längs des Drahtes mit der Höhe zu und beträgt bei einem 20 m langen Draht in den obersten Partieen 20—25 %.

Ein dauernd positiv oder negativ geladener Draht zeigt natürlich dieselbe Erscheinung, wie aus der Deformation des Erdfeldes gemäß Fig. 15—22 hervorgeht. Bei einem dauernd negativ geladenen Draht nimmt natürlich diese Erhöhung je nach der Höhe der angelegten Spannung leicht ganz andere Beträge an. Sie kann beispielsweise schon bei — 3000 Volt etwa 250 % betragen. — Ein weiteres Eingehen auf diese Frage wäre hier nicht am Platze; sie kann aber in der Funkentelegraphie möglicherweise eine nicht zu unterschätzende Rolle spielen.

Bemerkungen: Zum Abschluß dieses ersten Teiles der Arbeit sei noch kurz auf zwei Beobachtungen aufmerksam gemacht; die Verhältnisse scheinen mir noch nicht genügend geklärt, als daß etwas allgemein Gültiges darüber gesagt werden könnte.

1. Bei der Bestimmung des Verhältnisses der Wanderungsgeschwindigkeiten der Radium- und Thorteilchen aus dem Verhältnis der Aktivitäten auf verschiedenen Teilen des Drahtes ist zu sehen, daß scheinbar dies Verhältnis mit wachsender Höhe etwas steigt. Der Grund kann ja tatsächlich darin liegen, daß in größerer Höhe die Geschwindigkeit der Thorpartikel wegen der größeren Möglichkeit der Molisierung auf dem Weg vom Boden zur Höhe im Durchschnitt etwas geringer ist; wahrscheinlicher aber ist, daß bereits in dieser Höhe (etwa 20 m) der Gehalt an Thoriumzerfallsprodukten etwas geringer ist als am Erdboden und zwar wegen der großen Zerfallsgeschwindigkeit der Thoremanation. Drähte, die auf dem Turm horizontal ausgespannt waren, zeigten auch tatsächlich nur eine geringe Thoraktivität. Die Zahl der Versuche erscheint mir aber nicht ausreichend zur Entscheidung der wichtigen Frage nach der raschen Abnahme der Thoraktivität mit der Höhe. Groß ist die Abnahme auf keinen Fall. Das ergibt sich aus den zahlreichen Untersuchungen der verschiedenen Teile eines bei hoher Spannung aktivierten Drahtes.

2. Bei einer Reihe von Beispielen zeigt sich nach einer Abklingungszeit von etwa 15 Minuten ein intensiver Anstieg der Kurve (vgl. Fig. 23), der sich nicht aus der Abklingung der in Betracht kommenden Stoffe ohne weiteres erklären läßt. Dasselbe habe ich bereits bei früher veröffentlichten Untersuchungen[1]) von Hüllen beobachtet, die die

[1]) K. Kurz, Phys. Zeitschr. 7, 771, 1906. Ber. d. D. Phys. Ges. 4, 459, 1906. Dissertation, Gießen 1907.

negativ geladenen Zerstreuungskörper von Apparaten für luftelektrische Messungen umgeben hatten. Die entsprechende Erscheinung ist unterdessen auch von Gerdien[1]) beobachtet worden. Da die Erscheinung ausblieb, als die Aufwickeleinrichtung für den einzuholenden Draht so umgeändert war, daß nur noch geringe Erschütterungen beim Aufwickeln vorkamen, so ist der Grund vielleicht im Verhalten dieser aufgelagerten Produkte gegen äußere Störungen zu suchen. Stephan Meyer hatte bei der Diskussion über obige Versuche darauf hingewiesen,[2]) daß Ra *C* ein spröder Körper sei, der bei Erschütterungen von seiner Unterlage abspringe. Ein Neuentstehen des strahlenden Ra *C* aus dem ihm gegenüber strahlenlosen Ra *B* könnte wohl ein Wiederansteigen der Kurve zur Folge haben, sobald Ra *A* zur Genüge abgeklungen ist. Es wurden daher Bleche in Radiumemanation aktiviert und nach dem Herausnehmen absichtlich durch Aufstoßen oder Hin- und Herbiegen erschüttert. In den Abklingungskurven (vgl. Fig. 24) zeigten sich dann tatsächlich Störungsstellen, die ein ähnliches Bild geben wie die fragliche Erscheinung. Auch die Unterlage, auf die abspritzende Teilchen fallen mußten, wurde untersucht; sie zeigte sich aktiv, und zwar (vgl. Fig. 25), wie sich aus der Aktivierungsdauer (15′) ergibt, zeigt sich eine etwas andere Kurve als einer Aktivierung in Radiumemanation entsprechen würde. Es ist fast die reine Abklingungskurve von Ra *C*.

Einer Deutung der Erscheinung in dieser Weise widerspricht jedoch einmal, daß sie sich nie so ausgeprägt durch dies Experiment wiederholen ließ, wie sie sich bei den Aktivierungen in der freien Atmosphäre zeigte; zweitens finden sich bei diesem Experiment manchmal mehrere Störungsstellen, wie auch Fig. 24 zeigt, während bei den aktivierten Drähten regelmäßig nur ein solcher Anstieg mit einer Maximalstelle bei einer bestimmten Zeit sich zeigte. — Ein weiteres Eingehen auf diesen Punkt soll an diesem Ort wegen der geringeren Wichtigkeit der Erscheinung für die hier in Frage kommenden Punkte unterbleiben.

---

[1]) H. Gerdien, a. a. O.

[2]) K. Kurz, a. a. O.

II. Teil.

Über Wirkungsweise und Bedeutung der radioaktiven Stoffe in der Atmosphäre.

Nachdem im ersten Teil dieser Arbeit die Natur der radioaktiven Substanzen in der Atmosphäre und das Mengenverhältnis der verschiedenen in Betracht kommenden Stoffe klargelegt worden ist, soll im zweiten Teil gezeigt werden, welche Bedeutung diesen Stoffen im Elektrizitätshaushalt der Atmosphäre zukommt.

Nach der mehr qualitativen Arbeit des Aufstellens von Hypothesen über den Elektrizitätshaushalt der Atmosphäre und ihrer Verteidigung ist man in neuerer Zeit dazu übergegangen, die einzelnen Hypothesen quantitativ auszuwerten, d. h. zu untersuchen: Welchen Beitrag zur Aufrechterhaltung des in der Atmosphäre vorhandenen stationären Zustandes vermögen die einzelnen Vorgänge zu liefern. — Die Entdeckung der radioaktiven Stoffe in der Atmosphäre fiel geschichtlich in diese Zeit, in der man noch nach einzelnen Vorgängen suchte, die durch Ionenerzeugung den durch allerhand Umstände sich fortwährend mindernden Ionengehalt auf normaler Höhe zu halten vermögen. Glaubte man anfangs in den radioaktiven Stoffen den gesuchten Hauptionisator gefunden zu haben, so schienen später quantitative Messungen zu zeigen, daß diesen Substanzen nur eine verschwindende Rolle im ganzen Ionenhaushalt zukommt.

Hier soll nun gezeigt werden, daß die Wahrheit in der Mitte liegt, daß den radioaktiven Stoffen in der Atmosphäre und in den obersten Schichten des Erdbodens ein nicht unwesentlicher Beitrag zu der pro Zeiteinheit in der Raumeinheit zu erzeugenden Ionenmenge zu danken ist.

Wir wollen hier auch das Beobachtungsmaterial anderer Forscher heranziehen zur Klärung dieses Verhaltens. Aus diesem Grunde soll zunächst ein weiteres Resultat besprochen werden, das bei den Untersuchungen über die Wirkungen einer Variation der Expositionsspannung gefunden wurde: Die Reduktion der Elster-Geitelschen Aktivierungszahl auf absolutes Maß, ein Resultat, das uns ermöglicht, das in dieser Form gegebene umfangreiche Beobachtungsmaterial für unsere Zwecke zu verwerten. — Ehe dann Wirkungsweise und Bedeutung der radioaktiven Stoffe für den Elektrizitätshaushalt erörtert wird, soll weiter zuerst ihre Abhängigkeit von meteorologischen Daten besprochen werden, ein Umstand, der ebenfalls mancherlei zu klären vermag.

A. Reduktion der Elster-Geitelschen Aktivierungszahl auf absolutes Mass.

Die „Aktivierungszahl" wurde von Elster und Geitel eingeführt als Vergleichsmaß für die Radioaktivität der Atmosphäre an verschiedenen Orten. Sie giebt an, um wieviel Volt die Spannung des Elster-Geitelschen Elektrometers in 1 Stunde sinkt durch Einbringen von 1 m des in freier Atmosphäre aktivierten Drahtes in den Zerstreuungsraum. Der Draht sollte bei — 2500 Volt Spannung 2 Stunden aktiviert sein. Es war natürlich von großer Wichtigkeit bei der Erschließung dieses neuen Gebietes ein Vergleichsmaß zu haben, das gestattete, die an verschiedenen Orten gewonnenen Resultate aufeinander zu

beziehen. Die auf einem Draht angesammelte Substanzmenge, also auch die „Aktivierungszahl", giebt jedoch noch kein absolutes Maß für den wirklichen Gehalt der Luft an radioaktiven Stoffen; doch stehen beide Größen in einem gewissen Zusammenhange. Dem Wunsche, das große, bereits vorliegende Beobachtungsmaterial zu retten durch nachträgliche Reduktion auf absolutes Maß, entsprang der Versuch, jenen Zusammenhang zu finden. Dabei mußte natürlich, wie sich aus den bisherigen Betrachtungen ergiebt, Rücksicht genommen werden auf Aktivierungsdauer, Aktivierungsspannung und Beobachtungsinstrument. Sind freilich an den verschiedenen Beobachtungsorten in den Zeiten der Messungen durch meteorologische Verhältnisse die Beweglichkeiten der Substanzen wesentlich verschieden gewesen, so ist dieser Fehler nicht mehr nachträglich zu korrigieren. Es kann ja auch nur der Zweck der Reduktion einer nicht gut definierten Größe sein, wenigstens annähernd den Zusammenhang mit absoluten Größen nachträglich festzulegen.

Die Reduktion ist so gedacht, daß am selben Orte gleichzeitig absolute quantitative Bestimmungen des Gehaltes der Luft an radioaktiven Stoffen und Bestimmungen der Elster-Geitelschen Aktivierungszahl vorgenommen werden. — Aus Kurve 10 entnehmen wir den Wert, der einer Aktivierungsspannung von — 2500 Volt entspricht. Unter Zugrundelegung der Kapazität des von mir benutzten Elektrometers berechnen wir den Sättigungsstrom, die Elektrizitätsmenge, die bei der Ionisation im Zerstreuungsgefäß durch den 23,55 m langen Draht in der Zeiteinheit neutralisiert worden ist. Unter Berücksichtigung der Kapazität des Elster-Geitel-Apparates bestimmen wir dann den Spannungsrückgang in Volt pro Stunde, den 1 m des Drahtes im Elster-Geitel-Apparat bewirkt hätte. Beachten wir ferner, daß die der Fig. 10 entnommene Zahl einer Aktivierung des Drahtes bis zur Maximalaktivität entspricht und berechnen wir nach Formeln (21)—(24), welche Aktivität in der bei Elster und Geitel vorgesehenen Aktivierungsdauer von 2 Stunden erreicht worden wäre, so kommen wir schließlich zu dem Resultat: Ein in Gießen bei — 2500 Volt 2 Stunden lang aktivierter Draht verursacht in einem Elster-Geitelschen Zerstreuungsapparat im Mittel einen Spannungsrückgang von 13 Volt pro Stunde und Meter. D. h. für Gießen würde sich die Aktivierungszahl $A = 13$ ergeben als Durchschnittswert aus einer großen Zahl von Beobachtungen. Elster und Geitel finden in Wolfenbüttel 20 als Aktivierungszahl[1]) aus einer über längere Zeit sich erstreckenden Beobachtungsreihe. Bei den lokalen Verschiedenheiten von Gießen und Wolfenbüttel befinden sich beide Werte in guter Übereinstimmung.

Nun habe ich in Gießen an der gleichen Stelle quantitative Bestimmungen des Gehaltes der Atmosphäre an radioaktiven Stoffen nach einer Aspirationsmethode ausgeführt.[2]) Es ergab sich als Mittelwert $7{,}16 \cdot 10^{-5}$ E. S. E. pro m^3, d. h. die in einem Aspirationsapparat auf der negativ geladenen Elektrode abfangbaren festen radioaktiven Stoffe der Atmosphäre vermögen im m^3 Luft einen Sättigungsstrom von $7{,}16 \cdot 10^{-5}$ E. S. E. zu unterhalten. [Es sei schon hier zur Vermeidung von Mißverständnissen auf einen Punkt aufmerksam gemacht, dessen Bedeutung erst später erörtert wird: Auch bei solchen quantitativen Bestimmungen nach der Aspirationsmethode, wie sie bis jetzt in Wien, Göttingen und Gießen ausgeführt sind, mißt man nur den Gehalt der Atmosphäre an solchen radio-

[1]) Elster und Geitel, Phys. Zeitschr. 5, 11, 1904.

[2]) K. Kurz, Phys. Zeitschr. 9, 177—184, 1908; Dissertation, Gießen 1907.

aktiven Stoffen, die im elektrischen Felde eine Wanderung nach der Kathode hin beginnen und zwar eine Wanderung von solcher Geschwindigkeit, daß sie nicht mit dem Luftstrom durch den Aspirator hindurchfliegen. Es handelt sich auch hier im wesentlichen um eine primäre Ablagerung von Ra *A*.]

Der Wert $7{,}16 \cdot 10^{-5}$ E. S. E. ist in guter Übereinstimmung mit Werten, die an anderen Orten ebenfalls nach einer Aspirationsmethode gefunden wurden. In Wien[1]) erhält man (bei richtiger Korrektion der Zahlenangaben[2])) $4{,}2 \cdot 10^{-5}$ E. S. E., in Göttingen[3]) $12{,}3_8 \cdot 10^{-5}$ E. S. E. Der Gießener Wert $7{,}16 \cdot 10^{-5}$ liegt dem Mittel aus diesen nach gleichem Prinzip ausgeführten quantitativen Messungen, dem Werte $7{,}90 \cdot 10^{-5}$ E. S. E. sehr nahe. Gerade deshalb ist er für die weiteren Betrachtungen geeignet.

Es entspricht also in Gießen einem Gehalt der Atmosphäre an festen radioaktiven Stoffen von $7{,}16 \cdot 10^{-5}$ E. S. E. die Elster-Geitelsche Aktivierungszahl 13. Mithin können wir die Aktivierungszahl 1 als gleichbedeutend ansehen mit rund $0{,}5 \cdot 10^{-5}$ E. S. E. Damit lassen sich nun Beobachtungen, die an verschiedenen Orten nach verschiedenen Methoden gewonnen sind, direkt aufeinander beziehen.

B. Abhängigkeit von meteorologischen Elementen.

Bei allen luftelektrischen Messungen können meteorologische Faktoren entweder in direkter oder indirekter Weise mitspielen, meistens freilich in beiderlei Weise. Das ist natürlich auch bei den Messungen der radioaktiven Stoffe in der Atmosphäre der Fall. Denn einmal ist der Gehalt der Luft an solchen Substanzen abhängig von der Emanationsmenge, die dem Erdboden entströmen kann. Zweitens haben wir als wichtigen Faktor bei all diesen Erscheinungen die Beweglichkeit der Teilchen, ihre spezifische Geschwindigkeit im elektrischen Felde erkannt. Die Beweglichkeit aber ist hier genau wie bei den Ionen der Atmosphäre, eben nicht nur von Ladung und ursprünglicher Masse, sondern von all den äußeren Bedingungen abhängig, die eine Änderung der Ladung oder der Masse herbeiführen können.

Dies zeigte sich auch bei unseren Versuchen zunächst an der Wirkung des Luftdrucks. Schwankungen des Luftdrucks können leichter auf die Thoriumemanation einwirken als auf die Radiumemanation. Der Grund liegt in dem großen Unterschied der Lebensdauern. Bei der kurzen Halbwertszeit der Thoremanation, die nach Sekunden zählt, ist zu erwarten, daß die Amplituden der Schwankungen im Thoriumgehalt größer sind als die im Radiumgehalt der Atmosphäre. Tabelle 9 gibt eine Reihe von Beobachtungssätzen, in denen Aufnahmen, die bei gleicher Spannung gemacht sind, nach Barometerständen geordnet wurden. Zunächst zeigt sich, daß eine Abhängigkeit der Aktivität von dem Barometerstand in dem erwarteten Sinne nicht ohne weiteres zu konstatieren ist. Man hätte erwarten können, daß einem geringen Barometerstande hohe Aktivitätszahlen entsprächen, da bei geringerem Luftdruck größere Emanationsmengen mit der Bodenluft dem Boden entquellen. Der Grund zu dem abweichenden Verhalten liegt einmal darin, daß für das Emporquellen der Bodenluft nicht die Höhe des Luftdrucks, der Barometerstand,

---

[1]) K. W. F. Kohlrausch, a. a. O.

[2]) K. Kurz, Dissertation, Gießen 1907; Phys. Zeitschr. **9**, 177, 1908; Phys. Zeitschr. **9**, 218, 1908.

[3]) H. Gerdien, a. a. O.

das maßgebende ist, sondern die Änderung des Barometerstandes. Ein Sinken des Luftdrucks erleichtert das Austreten der Bodenluft, ein Steigen erschwert es.

Tabelle 9.

Barometer-stand	Radium-aktivität	Thor-aktivität
a) Spannung: — 4600 Volt.		
731,6	850	152,7
739,2	1010	25,8
739,8	856	162,2
740,0	1340	205,5
741,6	1161	122,0
741.8	1475	—
741,8	2770	—
742,8	1220	290,0
743,2	918	184,0
755,9	1180	—
b) Spannung: — 1200 Volt.		
742,8	400	
749,6	1160	
749,9	295	
755,9	615	
755,8	228	
c) Spannung: — 500 Volt.		
731,6	93	
739,2	126	
740.0	178	
741,6	258	
741,8	192	
741,8	208	

Die Tabellen zeigen eher im allgemeinen höhere Aktivitätswerte für die höheren Barometerstände. Hier spricht eben die indirekte Wirkung des Luftdrucks mit: Die höheren Barometerstände entsprechen Tagen mit „schönem Wetter“, sonnigen, klaren Tagen, an denen große Beweglichkeiten der radioaktiven Stoffe erhalten blieben, während sie bei der hohen relativen Feuchtigkeit der Tage mit niederem Barometerstand stark heruntergedrückt wurden. Die Aufzeichnungen über die Wetterlage zeigen durchweg, daß an sonnigen, heiteren Tagen hohe Aktivitäten gemessen werden können, an trüben, regnerischen Tagen geringe Aktivitäten. Der Grund liegt also nicht etwa allein in dem verschiedenen Gehalt der Atmosphäre an solchen Stoffen, sondern vor allem an der verschiedenen Beweglichkeit der radioaktiven Teilchen im elektrischen Felde.

Die direkte Wirkung der Luftdruckschwankungen ist auch aus den Tabellen zu ersehen, wenn man die Amplituden der Schwankungen von Radium und Thor ins Auge

faßt: Die prozentualen Abweichungen der Einzelwerte vom Durchschnittswert sind bei Thor größer als bei Radium. Daneben spielt natürlich auch für das Verhältnis von Thor und Radium die indirekte Wirkung des Luftdrucks ihre Rolle: Die Beweglichkeit der Thorpartikel, die von vornherein geringer ist, kann natürlich leichter so weit heruntergedrückt werden, daß die Teilchen sich unserem elektrischen Felde und damit unserer Beobachtung entziehen. Das drückt sich einmal natürlich auch in der prozentualen Schwankung aus, zweitens aber zeigt sich, daß Nebel leicht die Thoraktivität bis zu unmeßbaren Größen herunterdrückt. Bei einer großen Reihe von Beispielen war trotz verhältnismäßig großer Radiumaktivität die Thoraktivität nicht mehr nachweisbar. Der Grund lag in dem während der Aktivierung herrschenden Nebel.

Im gleichen Sinne wirken Regenfälle kurz vor und während der Aktivierung des Drahtes. Im allgemeinen zeigt sich, daß sowohl die absolute Menge der abgefangenen Substanz als auch vor allem der Prozentsatz an Thorzerfallsprodukten um so größer gefunden wird, je klarer und sonniger der Tag ist. Der indirekte Einfluß der Temperatur auf die gesamten Verhältnisse ist danach auch ohne weiteres klar.

Zwei unter sonst gleichen äußeren Bedingungen gemachte Aufnahmen, von denen die eine kurz vor, die andere kurz nach dem Auftauen des schwach gefrorenen Bodens angestellt wurde, zeigen das nach obigem zu erwartende Resultat: Vor dem Auftauen kaum nachweisbare Thoraktivität, nach dem Auftauen verhältnismäßig sehr hohe Aktivität. Die Verhältnisse für die Radiumaktivität lagen dabei sogar so, daß im ersten Fall die größere Menge konstatiert wurde. — Schneefall hatte auffallend niedere Gesamtwerte zur Folge, wie auch zu erwarten, da die Schneeflocken radioaktive Zerfallsprodukte aus der Luft mit herunterreißen.

C. Bedeutung der radioaktiven Stoffe für den Elektrizitätshaushalt der Atmosphäre.

Eine Besprechung der Wirkungsweise der radioaktiven Stoffe wird uns unmittelbar zu den Wirkungen führen, die diese Substanzen für den Elektrizitätshaushalt der Atmosphäre zu vollbringen vermögen.

1. Wirkungsweise der radioaktiven Stoffe.

Wir haben für die Ionenbildung in der Atmosphäre scharf voneinander zu trennen die Wirkungen der verschiedenen Strahlen, der α-, β-, γ-Strahlen. Für die Wirkung der α-Teilchen kommen nur die Substanzen in Betracht, die sich bereits gasförmig oder fest in der freien Atmosphäre befinden und zwar wegen des geringen Durchdringungsvermögens der α-Teilchen für gewöhnliche Materie. Die Reichweite in Luft für die hier in Betracht kommenden α-Teilchen geht von 4,33 cm für das α-Teilchen der Radiumemanation bis 8,6 cm für das α-Teilchen des Thorium *C*. Auf dieser Strecke vermag ein α-Teilchen rund 100 000 Ionen zu erzeugen. Für die Ionisation der nicht unmittelbar dem Erdboden anliegenden Schichten der freien Atmosphäre durch α-Strahlung kommen also nur die Substanzen in Betracht, die sich bereits an der betreffenden Stelle befinden, nicht dagegen die, die sich noch in den obersten Schichten der Erdkruste aufhalten, und nur in geringem

Maße diejenigen, die infolge allmählichen Heruntersinkens aus der Atmosphäre eine dünne Decke an radioaktiver Substanz auf dem Erdboden gebildet haben.

β- und γ-Strahlen der bereits in der Höhe befindlichen Substanzen kommen wegen ihres geringen Ionisierungsvermögens, verglichen mit dem der α-Teilchen für die Ionisation dieser Schichten, nur wenig in Betracht trotz ihres großen Durchdringungsvermögens. Das wird sich zahlenmäßig zeigen lassen. Anders steht es mit der Wirksamkeit der β- und namentlich der γ-Strahlen, die von den Substanzen ausgehen, welche sich in den obersten Schichten der Erdkruste befinden, oder die sich auf die Bodenoberfläcke aufgelagert haben. Hier ist zu bedenken, daß ein γ-Strahl eine Luftschicht von 1000 m Dicke durchsetzen muß, bis er auf 1% seiner Wirksamkeit geschwächt ist. Entsprechend läßt sich an der Durchdringungsfähigkeit der γ-Strahlung für die lockere Erdsubstanz der an Bodenluft reichen oberen Schichten zeigen, daß noch aus verhältnismäßig beträchtlicher Tiefe ionisierende Strahlen, die ihre Ursache in dem Vorhandensein radioaktiver Stoffe haben, in die freie Atmosphäre treten. Diese sogenannte „durchdringende Strahlung", deren Quelle nicht allein in den in der Luft vorhandenen Zerfallsprodukten zu suchen ist, sondern zum weitaus größten Teil in den in den obersten Schichten der Erdrinde allgemein verbreiteten radioaktiven Stoffen, muß mit berücksichtigt werden, wenn man angeben will, wieweit Radium, Thorium und Aktinium zur Ionisierung der Atmosphäre beitragen.

Zu diesen in der freien Atmosphäre selbst als eine Folge der Existenz der radioaktiven Stoffe entstehenden Ionen treten noch die Ionenmengen, die fertig gebildet mit der Bodenluft in die Höhe kommen, und die natürlich auch ihre Entstehung den im Boden vorhandenen radioaktiven Stoffen verdanken.

Da wir hier nur sehen wollen, wieweit diese Ionenquelle den Ionenmangel in der Atmosphäre wenigstens ungefähr zu decken vermag, wollen wir weiter nur die Hauptursache betrachten, durch die Ionen ständig verschwinden: die Wiedervereinigung der Ionen. Wir wollen also von den Erscheinungen der Adsorption, der Anlagerung an Wasserdampf, an Staubpartikelchen, der Molisierung absehen.

Sind n_1 und n_2 die Ionenzahlen beider Arten im cm³, ist α der Wiedervereinigungskoeffizient, so ist

$$\frac{dn}{dt} = q - \alpha \cdot n_1 \cdot n_2$$

die Änderung der Ionenzahl in der Zeiteinheit, wenn q die Zahl der in der Zeiteinheit in der Raumeinheit neu entstehenden Ionen bedeutet. Zur Erreichung des in der Atmosphäre tatsächlich bestehenden stationären Zustandes muß sein

$$q = \alpha \cdot n_1 \cdot n_2 .$$

Die Beantwortung der hier gestellten Frage nach der Erhaltung dieses stationären Zustandes durch die radioaktiven Stoffe läuft also hinaus auf die Angabe eines q infolge der Anwesenheit solcher Substanzen und eines q, das durch α, n_1, n_2 bestimmt ist.

Eine der Schwierigkeiten hierbei liegt in der Unsicherheit, die den bisher vorliegenden Bestimmungen des Wiedervereinigungskoeffizienten α anhaftet, eine zweite in den unsicheren Bestimmungen von n_1 und n_2, den Ionenzahlen im cm³, da die Ionenzähler wesentlich nur „freie" Ionen, Ionen mit bestimmter spezifischer Geschwindigkeit, die nicht unter eine

gewisse Grenze heruntergehen darf, abfangen können. Daher schwanken auch die Angaben über q, die Zahl der in der Zeiteinheit im cm³ zu bildenden Ionen stark. Schuster[1]) gibt Werte für q zwischen 12 und 38, Rutherford[2]) gibt 30, Eve[3]) 1—5, diese freilich nach Messungen von n_1 und n_2 über dem Ozean.

2. Wirkung der radioaktiven Stoffe.

Von welcher Größenordnung sind nun die von den radioaktiven Stoffen insgesamt gelieferten Ionenmengen pro cm³ und Zeiteinheit?

Bei quantitativen Bestimmungen des Gehaltes der Luft an radioaktiven Stoffen wird die Menge in zweierlei Weise angegeben: Entweder man bestimmt, mit wieviel g Radium die gefundene Menge radioaktiver Substanz, Emanation oder feste Zerfallsprodukte, im radioaktiven Gleichgewicht ist; oder man gibt an, welcher Sättigungsstrom in E. S. E. im m³ Luft von den Substanzen unterhalten werden kann. Da man den Sättigungsstrom kennt, den die mit 1 g Radium im Gleichgewicht befindlichen Zerfallsprodukte unterhalten können, so lassen sich die Angaben einfach aufeinander umrechnen. Im folgenden ist statt des Sättigungsstroms die Zahl der Ionen gegeben, die durch die Anwesenheit der radioaktiven Stoffe im cm³ erzeugt werden. — Direkte quantitative Bestimmungen des Gehaltes der Atmosphäre an radioaktiven Stoffen sind noch wenig gemacht. Zahlreich sind dagegen die Beobachtungen, die ihr Resultat in „Aktivierungszahlen" angeben. Die oben gegebene Methode der Reduktion der Aktivierungszahl auf absolutes Maß gestattet uns nun, auch diese Beobachtungen quantitativ zu deuten, und damit steht uns bereits ein großes und über die verschiedensten Gegenden verbreitetes Beobachtungsmaterial zur Verfügung.

a) Wirkung der Emanation in der Atmosphäre.

Die bereits vorliegenden Bestimmungen des Gehaltes der freien Atmosphäre an Emanation sind nach zwei Methoden ausgeführt. Die eine beruht auf einer Kondensation der Emanation bei der Luftverflüssigung. Läßt man die Temperatur der flüssigen Luft über den Verdampfungspunkt steigen, so entweicht bei -154^0 1 ‰, bei -152^0 ½ %, bei -150^0 50 % der kondensierten Emanation. — Die zweite Methode stützt sich auf die Eigenschaft der Holzkohle, vor allem der Holzkohle aus Kokosnußschalen, schon bei gewöhnlicher Temperatur der Luft die Emanation zu entziehen. Bei einer Erhitzung der Holzkohle auf 40—50° C. entweicht die Emanation wieder.

In Cambridge[4]) wurden nach beiden Methoden Bestimmungen des Emanationsgehaltes der Atmosphäre ausgeführt: sie ergaben eine Emanationsmenge, die mit $100 \cdot 10^{-12}$ g Radium im Gleichgewicht ist. Nach der zweiten Methode, Anreicherung der Emanation in Kokosnußholzkohle, ist in Canada[5]) in Nordamerika eine Bestimmung ausgeführt worden, die zu dem Werte $60 \cdot 10^{-12}$ g Ra führte, als der Radiummenge, die mit der vorhandenen Ema-

---

[1]) A. Schuster, Proc. Manchester Phil. Soc., 1904.

[2]) E. Rutherford, Radioactivity, 2. Aufl., S. 526.

[3]) A. S. Eve, Phil. Mag., Febr. 1907.

[4]) J. Satterly, Phil. Mag. 15, 548—615, 1908.

[5]) A. S. Eve, Phil. Mag. 15, 622—632, 1908.

nationsmenge im Gleichgewicht ist. (Die Einzelwerte schwanken zwischen dem ein- und siebenfachen Betrag.)

Es läßt sich nun ausrechnen, welche Ionenzahl durch diese Emanationsmenge in der Zeiteinheit im cm^3 gebildet wird. Im Falle des Radiums geschieht diese Bildung durch Aussendung eines α-Teilchens beim Zerfall eines Emanationsatoms. Da man weiter weiß, welche Mengen an radioaktiven Zerfallsprodukten Ra A, Ra B, Ra C mit dieser Emanationsmenge in radioaktivem Gleichgewicht sind, so läßt sich unter Berücksichtigung der Reichweiten der verschiedenen in Betracht kommenden α-Strahlenarten, also des verschiedenen Ionisierungsvermögens der α-Teilchen von Radiumemanation, Ra A, Ra C, berechnen, welche Ionenmengen im cm^3 in der Zeiteinheit durch die Radiumemanation und ihre Zerfallsprodukte in der freien Atmosphäre erzeugt werden. Diese Rechnung liefert für

Cambridge: 2,5 Ionen im cm^3 in der sec.,
Montreal (Canada): 1,5 Ionen im cm^3 in der sec.

Bestimmungen der Thor- und der Aktiniumemanation in entsprechender Weise sind bis jetzt noch nicht ausgeführt. Der Grund liegt in der experimentellen Schwierigkeit, diese kurzlebigen Produkte gesondert zu erhalten. Die Gesamtwirkung der α-Strahlen wäre zur Berücksichtigung von Thor und Aktinium nach dem ersten Teil dieser Arbeit um etwa 10 % zu erhöhen.

Eine ältere und nach einer anderen Methode ausgeführte Messung in Wien[1]) würde in dieser Umrechnung liefern: 15 Ionen pro cm^3 und Zeiteinheit.

b) Wirkung der festen Zerfallsprodukte in der Atmosphäre.

Direkte quantitative Messungen, die von einer Bestimmung der festen Zerfallsprodukte ausgehen, liegen zur Zeit auch nur wenige vor. In Göttingen,[2]) Wien[3]) und Gießen[4]) wurden Messungen nach einer Aspirationsmethode ausgeführt, die unter sich gut übereinstimmende Werte gaben. Die Luft wird durch einen Zylinderkondensator gesaugt, die radioaktiven Substanzen, die sich auf der negativ geladenen Innenelektrode absetzen, werden in geeigneter Weise gemessen. Wir wollen wieder die Beobachtungsdaten in gleicher Weise umrechnen wie oben, d. h. angeben, welche Ionenmengen durch die gesamte vorhandene Substanzmenge, feste Zerfallsprodukte und dazu gehörige Emanationsmenge, geliefert werden. Zu berücksichtigen ist die im ersten Teil dieser Arbeit erkannte Tatsache, daß zur direkten primären Abscheidung auf der negativ geladenen Elektrode im wesentlichen nur das erste, aus der Emanation entstehende feste Zerfallsprodukt gelangt.

Dann erhalten wir unter Berücksichtigung der Thorwirkung in

Wien: 0,44 Ionen pro cm^3 und Zeiteinheit,
Gießen: 0,74 Ionen pro cm^3 und Zeiteinheit,
Göttingen: 1,30 Ionen pro cm^3 und Zeiteinheit,

im Mittel also eine Erzeugung von 0,82 Ionen pro cm^3 und Zeiteinheit. Die Übereinstimmung der Werte ist gut, wenn man bedenkt, daß die Einzelwerte großen Schwankungen

[1]) R. Hofmann, Phys. Zeitschr. 6, 337, 1905.
[2]) H. Gerdien, a. a. O.
[3]) K. W. F. Kohlrausch, a. a. O.
[4]) K. Kurz, a. a. O.

unterworfen sind, daß meine Gießener Werte z. B. zwischen dem Ein- und Vierfachen schwanken.

Zweierlei sagen diese Zahlen: Einmal fällt auf, daß die aus der Bestimmung der festen Zerfallsprodukte abgeleiteten Zahlen im ganzen kleiner sind als die aus Emanationsmessungen berechneten. Freilich der Göttinger Wert mit 1,30 und der von Montreal in Nordamerika mit 1,50 sind in überraschender Übereinstimmung, wenn man die verschiedene geographische und geologische Lage und vor allem eben die verschiedenen Methoden bedenkt, die zu diesen Werten geführt haben.

Der Grund für die größeren Werte bei Emanationsbestimmungen ergibt sich wieder aus dem ersten Teil der Arbeit. Wir hatten uns da die Aktivierung eines Drahtes, hier nun entsprechend die Aktivierung der inneren, negativ geladenen Elektrode des Aspirationsapparates so gedacht: Die Emanation umspült den zu aktivierenden Körper, und die aus der Emanation unmittelbar entstehenden, positiv geladenen, sehr beweglichen Ra *A*-Teilchen setzen sich auf der negativ geladenen Elektrode ab. Alle etwas „älteren" Ra *A*-Teilchen und die übrigen Zerfallsprodukte sind schon bald nach ihrer Entstehung molisiert, für das elektrische Feld nicht mehr oder doch nur zu einem Bruchteil vorhanden. Saugen wir also Luft und damit Emanation durch den Kondensator des Aspirationsapparates, so werden nur die verhältnismäßig „jungen" Ra *A*-Teilchen abgefangen. Jedenfalls besteht bei dieser Methode dieselbe Gefahr wie bei den Ionenzählungen: Die schwerer beweglichen Partikel fliegen unbehelligt durch den Apparat hindurch. Das würde erklären, daß wir durch Emanationsbestimmung einerseits, Bestimmung der festen Zerfallsprodukte andererseits zu Ionenzahlen von gleicher Größenordnung kommen, daß aber die Emanationsbestimmungen die größeren Zahlenwerte liefern. Im allgemeinen wird man sagen können, daß man immer Gefahr läuft, zu verhältnismäßig zu kleinen Zahlenwerten zu kommen, wenn man die Bestimmung der Zerfallsprodukte auf den Versuch stützt, sie in einem elektrischen Felde abzufangen.

Zweitens: Ein Vergleich mit den S. 48 gegebenen Werten für q, der Ionenzahl, die pro Zeiteinheit im cm^3 erzeugt werden muß zur Aufrechterhaltung des stationären Zustandes in der Atmosphäre, sagt: Die α-Strahlwirkung der in der Atmosphäre suspendierten radioaktiven Stoffe, und zwar der Emanationen samt ihren Zerfallsprodukten, vermag nur einen Bruchteil der zur Aufrechterhaltung des Elektrizitätshaushaltes nötigen Ionisierungsarbeit zu leisten.

Es sind nur wenige direkte quantitative Messungen, die uns dies Resultat geliefert haben. Gerade darum ist es von Interesse, auf indirektem Wege Vergleichsmaterial zu erhalten. Messungen in Aktivierungszahlen liegen, wie bereits bemerkt, von zahlreichen Orten vor. Der Durchschnittswert für Gießen betrug 13. Dem entspricht eine Ionenerzeugung von 0,74 pro cm^3 und Sekunde. Also können wir zur Reduktion der Aktivierungszahl auch angeben, daß der Aktivierungszahl 1 eine Ionenerzeugung von 0,057 Ionen pro cm^3 und Zeiteinheit entspricht. Es ist bereits oben darauf aufmerksam gemacht, daß der Wert nur in erster Annäherung richtig sein kann, und daß er die durch meteorologische Umstände bedingten Schwankungen nicht mehr zu beseitigen vermag. Zur Orientierung in diesem noch unbekannten Gebiet und zur nachträglichen Umwertung eines großen Beobachtungsmaterials auf absolutes Maß vermag der Zusammen-

hang immerhin gute Dienste zu leisten. In Tab. 10[1]) habe ich eine größere Zahl von Beobachtungen umgerechnet. Die erste Spalte gibt den Beobachtungsort, die zweite die pro cm^3 und sec. durch radioaktive Stoffe erzeugte Zahl von Ionen.

Tabelle 10.

Ort	Ionenzahl
Juist, Zinnowitz .	0,40
Swinemünde . .	2,05
Wolfenbüttel . .	1,08
Halle	$0{,}79_5$
Freiburg (Schweiz)	4,77
Arosa	5,17
Kochel	7,83
Altjoch	5,70
Benediktbeuren .	2,47
Herzogstand . . .	2,93
Hammerfest . . .	5,73
Karasjok	5,29
Palma	2,16
Großer Ozean . .	$0{,}05_1 - 0{,}25_6$
„ „ Nähe des Landes . .	2,27
Auf freier See . .	0,00
Clausthal	1,88
Wolfenbüttel	
a) Maximum .	2,85
b) Minimum .	$0{,}28_5$

Betrachtet man die Unterschiede an den einzelnen Orten, so sieht man, daß sich die bei direkten Messungen erhaltenen Resultate, wie sie Tab. 11 nach der Größe geordnet zeigt, gut einfügen.

Tabelle 11.

Ort	Ionenzahl
Wien . . .	0,44
Gießen . . .	0,74
Göttingen .	1,30
Montreal . .	1,50
Cambridge .	2,50

Auf eine Diskussion der Werte einzugehen, wäre hier nicht am Platze; uns interessiert die Feststellung der Tatsache, daß bei allen Messungen, die bisher angestellt wurden, die

[1]) A. Gockel, Luftelektrizität, S. 178; vgl. die dort angeführten Literaturangaben.

α-Strahlung der in der Luft suspendierten radioaktiven Stoffe nicht ausreicht zur Bildung der zur Aufrechterhaltung des stationären Zustandes erforderlichen Ionenzahl. Einzelne der beobachteten Werte freilich zeigen, daß doch auf diesem Wege unter Umständen immerhin ein erheblicher Bruchteil der zu liefernden Ionenzahl zustande kommt. Zwei andere Momente sind eben m. E. hier von großer Wichtigkeit: 1. Die durchdringende Strahlung der radioaktiven Stoffe, 2. die dem Boden entströmenden, bereits fertig gebildeten Ionen, die ihre Entstehung den radioaktiven Stoffen in den obersten Schichten der Erdoberfläche verdanken.

c) Wirkung der durchdringenden Strahlung in der Atmosphäre.

Ist auch die Ionisierungsfähigkeit der von den radioaktiven Stoffen in der freien Atmosphäre ausgehenden β- und γ-Strahlung verschwindend gegenüber der α-Strahlung, so ist doch ihre Reichweite um so größer. Trotzdem ist, wie sich zeigen läßt,[1]) die gesamte Ionisierungsarbeit dieser durchdringenden Strahlung, soweit sie von den in der Luft suspendierten Teilchen ausgeht, nur etwa 6 % der von der α-Strahlung geleisteten Arbeit.

Anders steht es mit der durchdringenden Strahlung, die vom Erdboden aus in den Luftraum hinausgeht. Die festen Zerfallsprodukte, die sich in dünner Schicht auf der Erdoberfläche ablagern und die radioaktiven Stoffe in den obersten Schichten der Erdsubstanz senden diese β- und γ-Strahlen in die Atmosphäre. Denn man hat tatsächlich beobachtet, daß in der freien Atmosphäre eine durchdringende Strahlung vorhanden ist, die der Größenordnung ihrer Wirkung nach nicht von den in der Luft suspendierten radioaktiven Zerfallsprodukten ausgehen kann. Rechnet man die Wirkung dieser durchdringenden Strahlung auf das von uns bisher gebrauchte Maß um, so erhält man eine Ionenbildung von 4,5 Ionen im cm^3 und in der Zeiteinheit.[2]) [3]) Da wir oben die Wirkung der von den in der Luft suspendierten Stoffen ausgehenden β- und γ-Strahlung zu 6 % von etwa 2—3 Ionen pro cm^3 und sec. angeben konnten, so haben wir den Ausgangspunkt dieser intensiven durchdringenden Strahlen in den radioaktiven Stoffen der obersten Bodenschichten zu suchen, wenn wir vorerst noch von der Möglichkeit einer aus dem Weltraum, also von außen her zu uns kommenden durchdringenden Strahlung absehen wollen. Man kann nun berechnen,[4]) welche Menge an radioaktiver Substanz die obersten Schichten der Erdkruste enthalten müßten, wenn von ihnen eine durchdringende Strahlung von solcher Intensität

---

[1]) A. S. Eve, Phil. Mag. XII, 199, 1906.

[2]) A. S. Eve, Phil. Mag. 12, 200, 1906.

[3]) Eine nach Fertigstellung dieser Arbeit erschienene Untersuchung von Th. Wulf: „Über die in der Atmosphäre vorhandene Strahlung von hoher Durchdringungsfähigkeit", Phys. Zeitschr. **10**, 152—157, 1909, führt sogar zu einem Mittelwert von 12 Ionen pro cm^3 und Zeiteinheit.

Bei dem von mir benutzten Elektrometer war der Luftraum nach außen hin vollständig durch Metall abgeschirmt. Machen wir die Annahme, daß der bei gut isolierendem Elektrometer in dem Zerstreuungsraum ständig fließende sogenannte „Reststrom" herrühren würde von einer von außen kommenden durchdringenden Strahlung, so müßte sie pro Zeiteinheit und cm^3 etwa 13 Ionen im Elektrometerraum erzeugen. Selbst bei Berücksichtigung des geringen Elektrizitätsüberganges über die einzige isolierende Bernsteinstütze und der von den Gefäßwandungen ausgehenden Strahlung kommen wir damit auch zu derselben Größenordnung für die Wirkung der durchdringenden Strahlung.

[4]) A. S. Eve, Phil. Mag. 12, 195, 1906.

ausgehen soll. Die Rechnung führt zu Zahlen von derselben Größenordnung, wie sie Strutt bei seiner Untersuchung von Gesteinsproben auf Radiumgehalt gefunden hat, das ist etwa $4{,}25 \cdot 10^{-12}$ g Radiumbromid im cm^3 der Erdkruste.

Die bis jetzt vorliegenden Beobachtungen über die durchdringende Strahlung in der Atmosphäre sind noch sehr spärlich. Aus der Gegenüberstellung ihrer Wirksamkeit mit der der in der Luft vorhandenen radioaktiven Stoffe ersieht man jedoch schon unmittelbar die Wichtigkeit dieses Faktors für den Elektrizitätshaushalt der Atmosphäre: Die durchdringende Strahlung, die ihre Ursache in der Anwesenheit radioaktiver Stoffe im Erdboden und in der Luft hat, erzeugt Ionenmengen, die von der Größenordnung der durch $q = \alpha \cdot n_1 \cdot n_2$ geforderten Menge sind. — Auf zweierlei sei hier kurz hingewiesen:

Einmal: Vermutlich haben wir in dieser durchdringenden Strahlung einen der Ionisatoren, die auch über dem Meere in intensiver Weise zu wirken vermögen. In welch gänzlich verschwindendem Maße die in der Luft über dem Meere befindlichen radioaktiven Zerfallsprodukte an der Ionisierung mitarbeiten können, geht aus einzelnen Daten der Tab. 10 hervor. Weiterhin ist der Radiumgehalt des Seewassers 500 mal, der des Seesalzes 15 mal geringer als der einer gleichen Gewichtsmenge Sedimentärgestein.[1] Dagegen kann aber die Konvektionsströmung im Wasser und die ständige Bewegung der Oberfläche einer γ-Strahlung, die sonst in der Tiefe verlaufen wäre, leichter den Austritt in die freie Atmosphäre gestatten.

Zweitens: Eine β- und γ-Strahlung wird von den Zerfallsprodukten aller vier bekannten radioaktiven Familien, Uran, Radium, Thorium, Aktinium, ausgesandt. Während für die Ionisation der Luft durch die in ihr suspendierten Stoffe nur Ra, Th, Akt in Betracht kommen, da nur diese Emanationen bilden, so stehen für die durchdringende Strahlung vier Stoffe zur Verfügung. Von den vier Familien sind Uran, Thorium, Aktinium mit je einem γ-strahlenden Zerfallsprodukt vertreten; Radium hat zwei γ-Strahler. Wie sich die vier Familien in den Gesamteffekt teilen, wieweit namentlich Uran X, dessen Wirksamkeit bis jetzt noch bei keinem der Luftionisierungsprozesse in Betracht gezogen worden ist, zur Gesamtwirkung beiträgt, ist noch nicht untersucht.

d) Wirkung der Bodenluft.

Wenn auch die direkte Wirkung der radioaktiven Stoffe in der Atmosphäre nur als ein geringer Bruchteil an der zu leistenden Ionisierungsarbeit zu bezeichnen war, so haben wir in der durchdringenden Strahlung, also gewissermaßen einer indirekten Wirkung, einen Faktor von großer Bedeutung erkannt. Freilich müssen eingehende Untersuchungen erst noch die Richtigkeit der Ergebnisse der ersten Versuche beweisen. Ein zweiter derartiger, indirekt wirkender Faktor, der seine Ursache in den radioaktiven Stoffen hat, zeigt sich in den mit der Bodenluft dem Erdboden entströmenden Ionen. Auch darüber liegen noch nicht genügend viel Messungen vor, die ein definitives Urteil erlauben. Immerhin aber können wir einige Zahlenbeispiele geben, die die wahrscheinlich große Bedeutung dieses Faktors und damit eine weitere Wirkung der radioaktiven Stoffe beleuchten.

Es ist ohne weiteres klar, daß in den obersten Schichten des Erdbodens eine bedeutende Anreicherung an radioaktiver Emanation und ihren Zerfallsprodukten statthaben muß, und

[1] A. Gockel, Luftelektrizität, S. 174.

daß infolgedessen die Bodenluft, die in den Erdkapillaren in die Höhe quillt, bei den Schwankungen des Luftdrucks, einmal einer intensiven Ionisation unterworfen ist, dann aber auch bei ihren Bewegungen große Mengen von Emanation und ihren Zerfallsprodukten mit sich führt. Beim Ausströmen der Bodenluft aus dem Erdboden dringen daher nicht nur radioaktive Stoffe mit in die Höhe, sondern auch große Mengen fertig gebildeter Ionen quellen aus dem Erdboden.

Als Maß wollen wir wieder die Ionenzahl angeben, die im cm^3 Bodenluft in der Zeiteinheit durch die Anwesenheit der radioaktiven Stoffe gebildet wird.

Bodenluft, die direkt dem Boden entnommen war, lieferte in München[1]) rund 3000 Ionen pro cm^3 und sec., in Freiburg (Schweiz)[2]) Werte zwischen 2000 und 8000. Diese ionenreiche Luft muß ihre Wirkung besonders auch in Kellern und abgeschlossenen Räumen bemerkbar machen: Kellerluft in Wien[3]) zeigt 440 Ionen pro cm^3 und sec. Nach „Aktivierungszahlen“ von Elster und Geitel[4]) läßt sich für einen von diesen Forschern untersuchten Brunnenschacht berechnen: 160 Ionen, für die Baumannshöhle im Harz 102.

Namentlich die für Bodenluft geltenden Zahlen zeigen, in welchem Maße sich die Bodenatmung an der Ionisierung der Atmosphäre unter Umständen beteiligen kann, wenn genügende Mengen Bodenluft in die freie Atmosphäre eintreten. Da eben hier in München Versuche abgeschlossen werden, die über diese Ionenquelle für den Elektrizitätshaushalt Aufschluß geben sollen, so wird hier nicht weiter auf diese Frage eingegangen.

Fassen wir die drei Wirkungen der radioaktiven Stoffe, die hier besprochen worden sind, zusammen, die Wirkung der in der Atmosphäre suspendierten Zerfallsprodukte von Radium, Thorium, Aktinium, die Wirkung der β- und γ-Strahlung, die von den in den obersten Schichten der Erdkruste verteilten Stoffen Uran, Radium, Thorium, Aktinium herrührt, die Wirkung der durch diese Stoffe in hohem Grade ionisierten Bodenluft, so sehen wir, daß eine Gesamtwirkung resultiert, die in der Größenordnung an die für den Elektrizitätshaushalt zu leistende Gesamtarbeit heranreicht. Wieweit die Gesamtionisation der Atmosphäre von den radioaktiven Stoffen tatsächlich bewirkt wird, kann erst entschieden werden, wenn erstens über die Wirkung der durchdringenden Strahlen und der Bodenatmung ein größeres Beobachtungsmaterial zur Verfügung steht, und wenn zweitens einwandfreiere Bestimmungen des Wiedervereinigungskoeffizienten und der Ionenzahlen in der Atmosphäre und damit der Zahl der pro sec. im cm^3 neu zu erzeugenden Ionen vorliegen.

---

[1]) H. Ebert und P. Ewers, Phys. Zeitschr. 4, 162, 1903; H. Ebert, Münch. Ber. 33, 133, 1903.

[2]) A. Gockel, Luftelektrizität, S. 165.

[3]) H. Mache und T. Rimmer, Phys. Zeitschr. 7, 617, 1906.

[4]) Elster und Geitel, Phys. Zeitschr. 4, 96, 1902.

Zusammenfassung.

Die Ergebnisse vorstehender Arbeit lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

1. In der Atmosphäre lassen sich die Zerfallsprodukte der radioaktiven Stoffe nachweisen, die eine gasförmige Emanation erzeugen, also Radium, Thorium, Aktinium. Eine restlose Zerlegung der Abklingungskurven nach den Gesetzen der Zerfallstheorie ist möglich; danach finden sich in der Atmosphäre keine weiteren als diese drei radioaktiven Stoffe.

2. Für das Verhältnis der Aktivitäten von Ra, Th, Akt, das sich auf einem Draht ausbildet, ist neben dem Gehalt der Luft an solchen Stoffen die beim Aktivieren verwandte Spannung ausschlaggebend. Der Grund liegt in der verschiedenen spezifischen Geschwindigkeit der verschiedenen radioaktiven Zerfallsprodukte. Das Verhältnis der Aktivitäten steigt zugunsten der leichter beweglichen Substanz bei wachsender Spannung.

3. Als Durchschnittsverhältnis der Beweglichkeiten der Thor- und der Radiumzerfallsprodukte wird 1 : 2,9 gefunden.

4. Auf einem negativ geladenen Draht scheidet sich in der Atmosphäre primär im wesentlichen nur das erste aus der Emanation entstehende Glied ab. Die weiteren, nach längerer Exposition auch vorhandenen Glieder der Zerfallsreihe haben sich sekundär aus dem primär abgesetzten Glied gebildet. Danach scheint nur dem ersten, aus der Emanation entstehenden Glied eine positive Ladung zuzukommen. Wahrscheinlich ist auch die Beweglichkeit der übrigen Zerfallsprodukte durch Molisierung stark vermindert.

5. Die Bedeutung des Erdfeldes für die Aktivierung von negativ geladenen, ungeladenen und positiv geladenen Drähten wird untersucht. Auch ein positiv geladener Draht kann darnach unter der Wirkung des Erdfeldes positiv geladene Zerfallsprodukte ansammeln. Die Menge der von einem positiv geladenen Draht angesammelten Substanz ist gleich der auf einem ungeladenen Draht sich absetzenden. Die Aktivierung eines positiv geladenen Drahtes in der Atmosphäre ergibt sich damit zum großen Teil als eine Sekundärwirkung des Erdfeldes.

6. Es wird gezeigt, daß stangenartige (linienförmige), geerdete Leiter, die im Erdfelde radioaktive Substanzen auf sich ansammeln, um sich herum eine Luftschicht besitzen in Gestalt eines Zylinders mit einem Radius gleich der Reichweite der α-Strahlen, in der die Leitfähigkeit wesentlich größer ist als in der freien Atmosphäre. Die Erhöhung nimmt bei senkrecht stehenden Leitern mit der Höhe zu und kann an der Spitze eines 20 m hohen Drahtes 20—25 % der Leitfähigkeit betragen. Bei dauernd negativ geladenen Drähten kann diese Erhöhung je nach der Höhe der angelegten Spannung Beträge von mehreren 100 % der weiter außen herrschenden Leitfähigkeit annehmen.

7. Der Einfluß meteorologischer Elemente auf Höhe und Zusammensetzung der induzierten Aktivitäten wird besprochen.

8. Es wird versucht, die Elster-Geitelsche „Aktivierungszahl" auf absolutes Maß zu reduzieren. Als Aktivierungszahl für Gießen wird 13, als absoluter Gehalt der Atmosphäre an festen radioaktiven Stoffen, die sich auf der negativ geladenen Elektrode eines Aspirationsapparates abfangen lassen, wird $7{,}16 \cdot 10^{-5}$ E. S. E. pro m^3 gefunden. Daraus wird berechnet, daß der Aktivierungszahl 1 eine Erzeugung von 0,06 Ionen pro cm^3 und Sekunde durch die Strahlwirkung der gesamten radioaktiven Stoffe in der Atmosphäre entspricht.

9. Es wird gezeigt,

a) daß die in der Atmosphäre suspendierten radioaktiven Stoffe nur einen geringen Bruchteil der zur Aufrechterhaltung des Elektrizitätshaushaltes in der Atmosphäre nötigen Ionisierungsarbeit zu leisten vermögen,

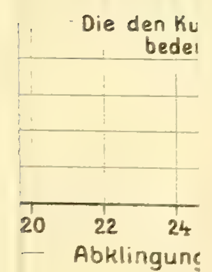
b) daß hingegen bei Berücksichtigung der durchdringenden Strahlung und der Bodenatmung der Gesamtwirkung aller radioaktiven Stoffe eine grundlegende Bedeutung im Ionenhaushalt der Atmosphäre zukommt.

Der experimentelle Teil der vorliegenden Arbeit wurde im Jahre 1906 im Physikalischen Institut der Universität Gießen ausgeführt. Den Herren Professoren Walter König und Heinrich Willy Schmidt, meinen hochverehrten Lehrern, bin ich zu dauerndem Danke verpflichtet.

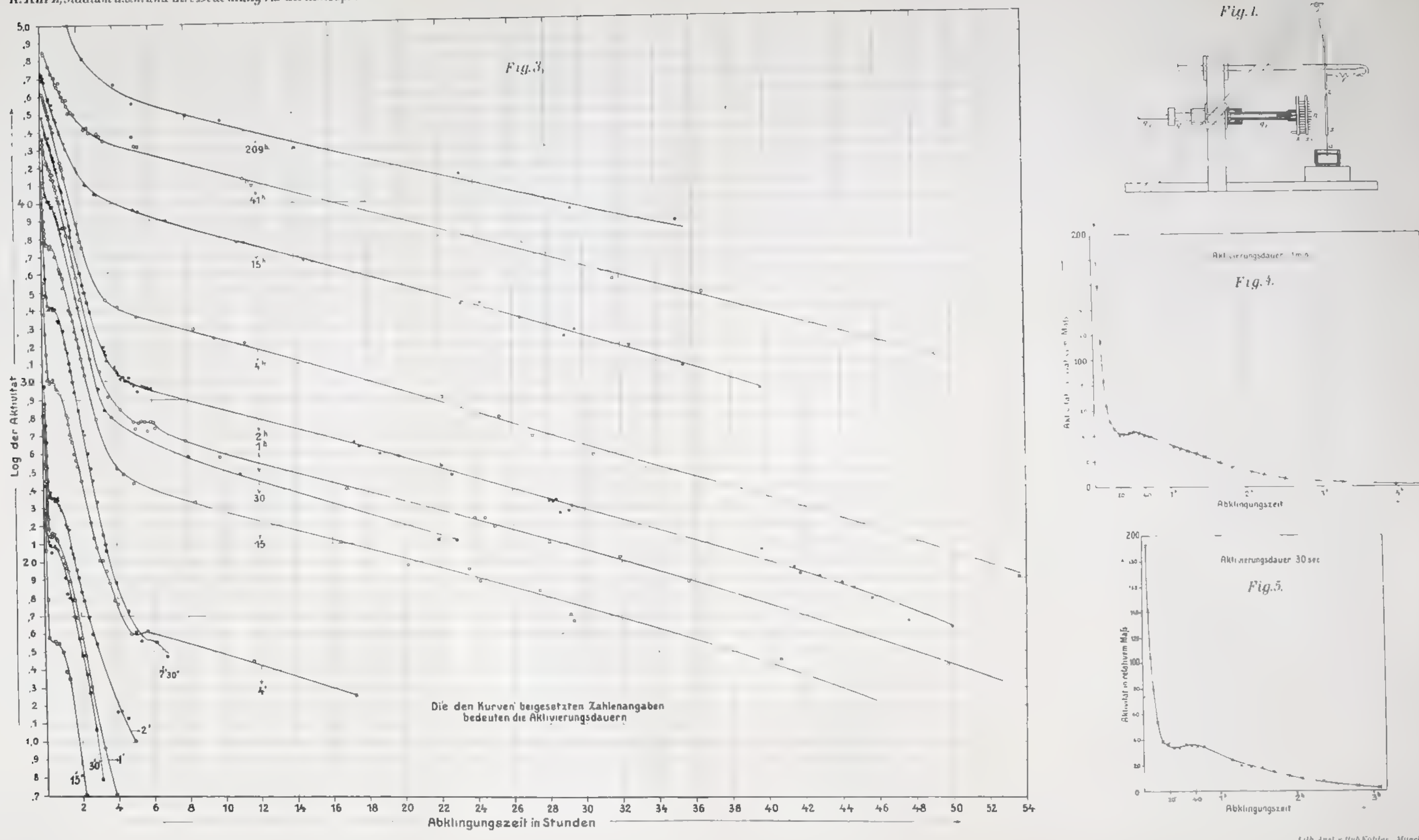
Die Ausarbeitung des Materials geschah im Physikalischen Institut der Technischen Hochschule München gleichzeitig mit den von mir im Auftrage der K. Bayer. Akademie der Wissenschaften vorgenommenen luftelektrischen Forschungen. Herrn Prof. H. Ebert danke ich herzlich für die anregende und liebenswürdige Unterstützung, mit der er meine Arbeiten gefördert hat.

München, Physikal. Institut der Techn. Hochschule, im März 1909.

tr.







Lith. Anst. v. Hub. Köhler, München



2^h 3

ɪ.6.

ɛr Θ = 1 Stunde.
ıung: - 4600 Volt.

16 18 20 22

Abklingung.



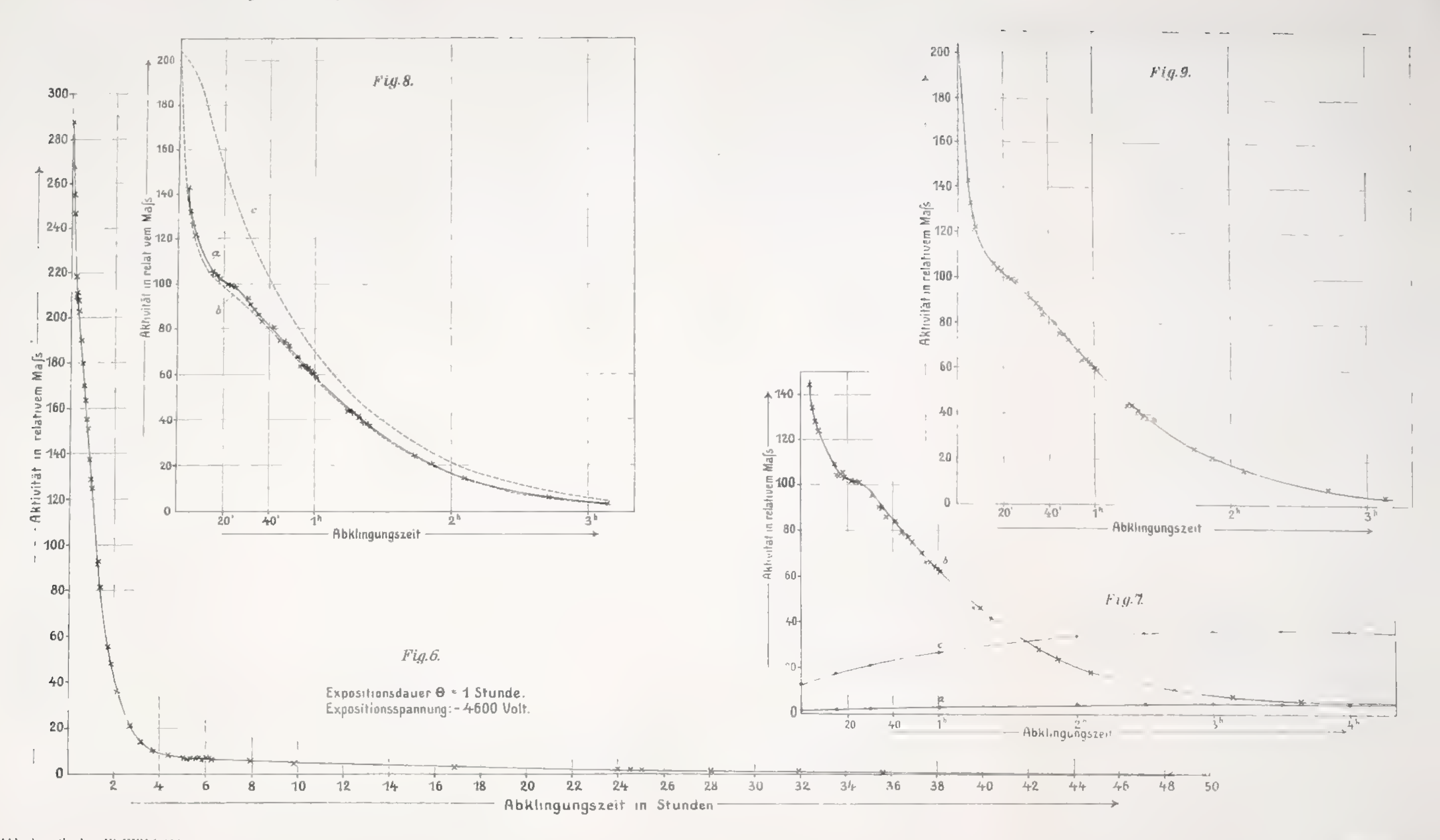

Fig. 8.
Aktivität in relat. vem Maſs
Abklingungszeit
Fig. 9.
Aktivität in relativem Maſs
Abklingungszeit
Fig. 7.
Aktivität in relativem Maſs
Abklingungszeit
Aktivität in relativem Maſs
Abklingungszeit in Stunden
Expositionsdauer Θ = 1 Stunde.
Expositionsspannung: - 4600 Volt.

Fig. 6.

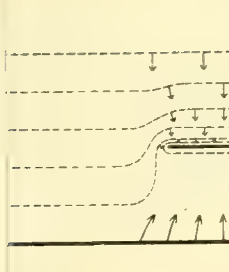


r:

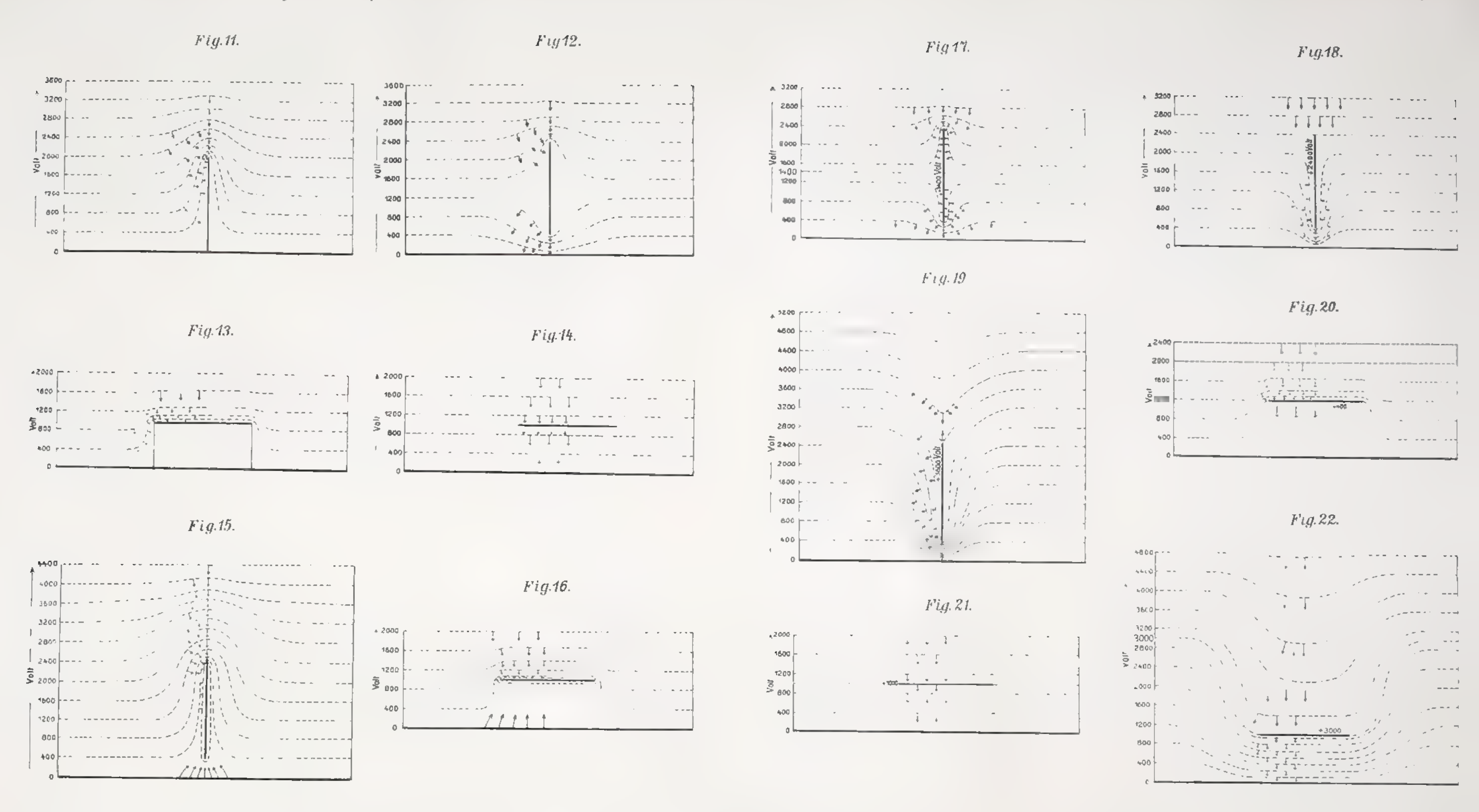
F

F

Fi







Lith. Anst. v. Hub. Köhler, München

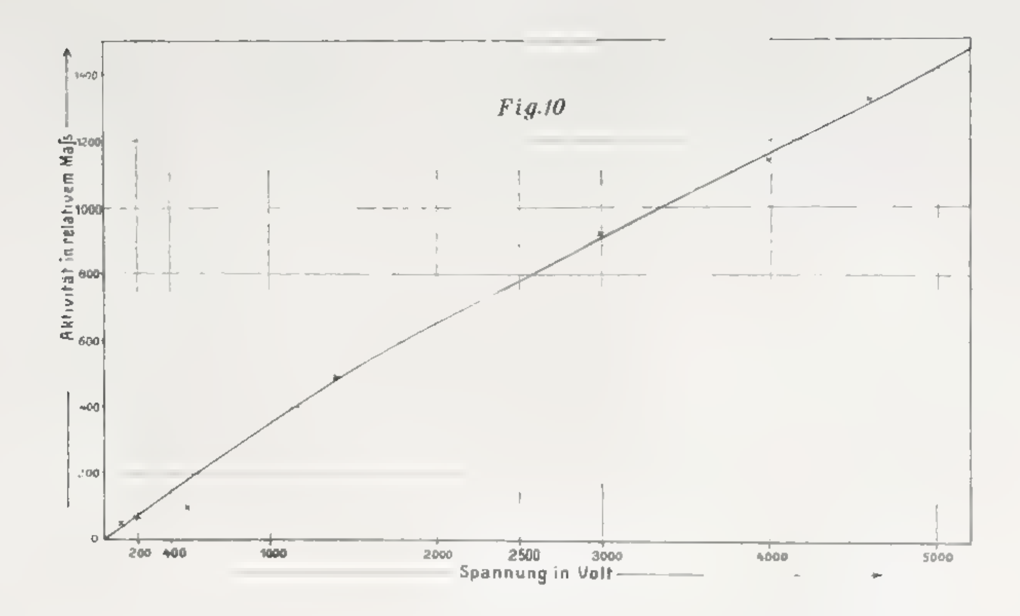


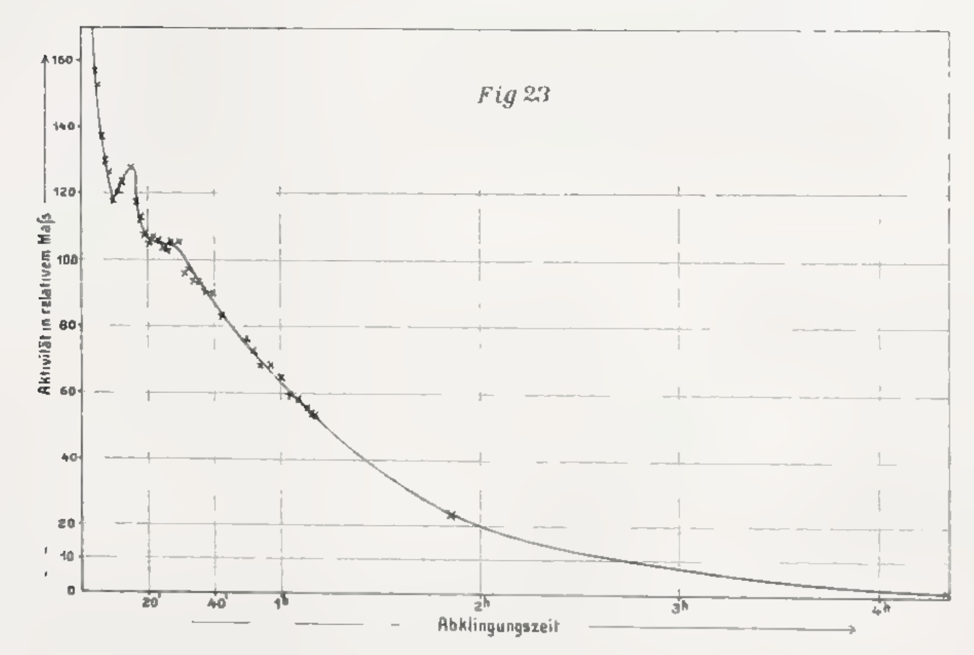
tr.

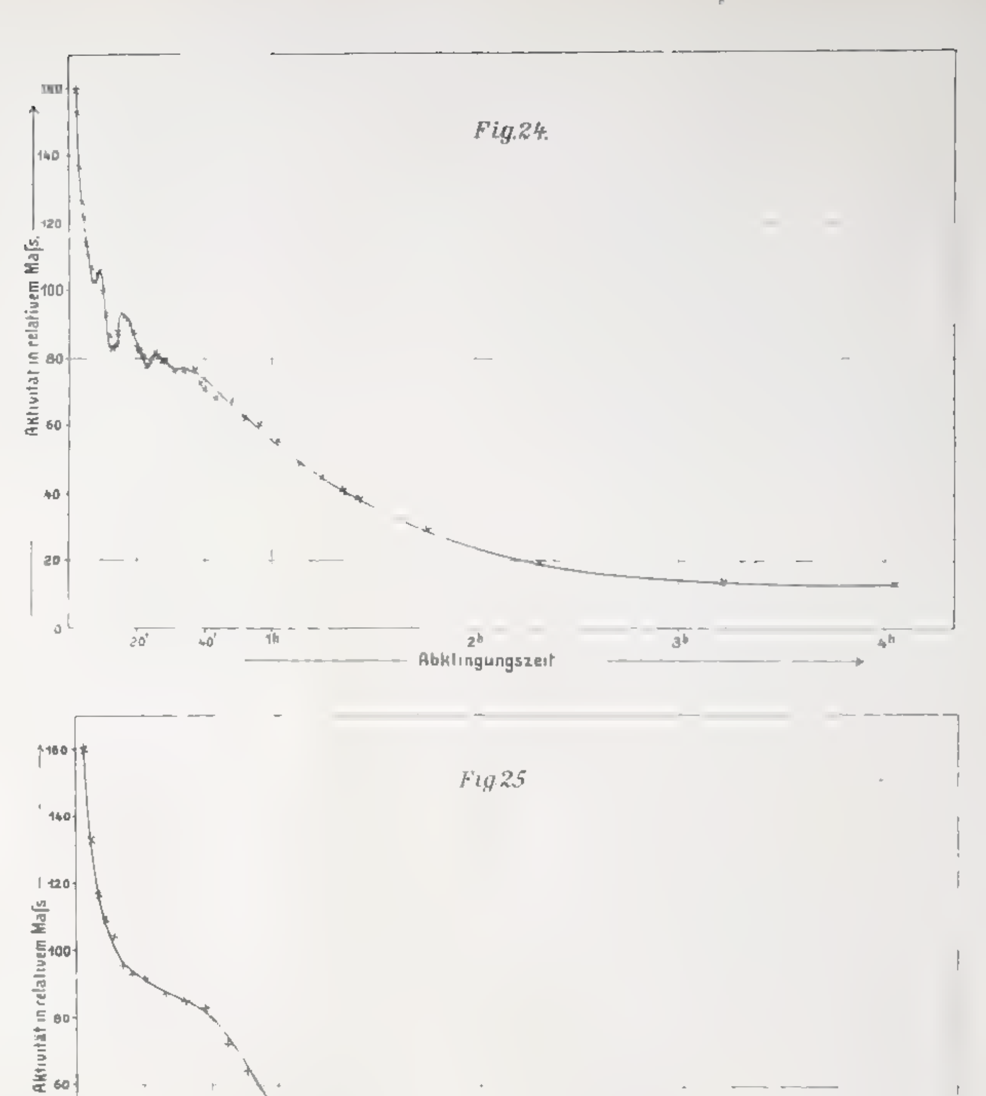
3000
olt.

3h









Lith. Anst. v. Hub. Köhler, München.



Abhandlungen
der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
XXV. Band, 2. Abhandlung

Registrierungen der luftelektrischen Zerstreuung in unmittelbarer Nähe des Erdbodens

von

H. Ebert und **K. Kurz**

mit 3 Tafeln

Vorgelegt am 3. Juli 1909

München 1909
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



Einleitung.

Durch die Arbeiten von J. Elster und H. Geitel ist in die luftelektrische Forschung ein neues wichtiges Element eingeführt worden: die Frage nach der Ionenführung der Atmosphäre. Anknüpfend an vorausliegende Untersuchungen von Linss[1]) zogen sie zunächst die „luftelektrische Zerstreuung" in den Kreis ihrer Messungen[2]), die Tatsache, daß ein genügend isolierter, elektrisch geladener Körper, der „Zerstreuungskörper", in dem Luftmeere stets seine Ladung mehr oder weniger rasch verliert; sie zeigten, daß diese Erscheinung nicht, wie man früher angenommen hatte, auf die entladende Wirkung des Wasserdampfes, des Staubes oder der Luftmoleküle zurückzuführen sei, sondern daß hierfür selbständig sich bewegende, primär geladene elektrische Träger: die Ionen verantwortlich zu machen sind. Seitdem haben die Fragen nach dem Vorkommen dieser Ionen, ihren Eigenschaften, ihrer Zahl und ihrer Entstehungsursache und der Rolle, welche sie in dem Naturhaushalte spielen, sehr viele Forscher beschäftigt.

Indessen zeigte sich bald, daß dieses neue luftelektrische Element mindestens von derselben Variabilität ist, wie das früher schon bekannte des atmosphärischen Spannungsgefälles, bezüglich dessen man sich schon in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts zur Registrierung entschlossen hatte, um die Gesetze seines zeitlichen Verlaufes zunächst am gleichen Beobachtungsorte genauer verfolgen zu können.

Demnach mußte es von Wichtigkeit erscheinen, Methoden ausfindig zu machen, um auch für die luftelektrische Zerstreuung eine fortlaufende Aufzeichnung zu gewinnen. Einen praktischen Vorschlag zu derartigen Registrierungen verdanken wir zuerst A. Sprung[3]). Von G. Lüdeling[4]) sind mit der nach verschiedenen Richtungen hin verbesserten Sprungschen Anordnung mittels des Benndorfschen mechanisch registrierenden Elektrometers Zerstreuungen im Jahre 1904 aufgezeichnet worden. Der Zerstreuungskörper war dabei vor einem Nordfenster des Turmes des meteorologisch-magnetischen Observatoriums in Potsdam ungefähr 26 m über dem Erdboden aufgestellt. Es ergab sich ein deutlicher täglicher Gang mit doppelter Periode mit einem Hauptmaximum in den ersten Nachmittagsstunden und einem Hauptminimum gegen 10—11 Uhr abends. Aber die Messungen konnten nur relative Werte liefern, wie der Autor hervorhebt, der die getroffene Einrichtung selbst als eine zunächst provisorische bezeichnet.

---

1) W. Linss, Meteorolog. Zeitschr. **4**, 355, 1887.

2) J. Elster und H. Geitel, Physikal. Zeitschr. **1**, 11 und 245, 1899.

3) A. Sprung, Physikal. Zeitschr. **5**, 328, 1904.

4) G. Lüdeling, Physikal. Zeitschr. **5**, 447, 1904.

Überhaupt mußte man sich alsbald darüber klar werden, daß die Angaben derartiger Zerstreuungsapparate einschließlich des von Elster und Geitel angegebenen, leicht transportablen und für erste qualitative Orientierungen auf dem neu erschlossenen Gebiete höchst wertvollen Instrumentariums, keine einfachen und direkten Beziehungen zu denjenigen Größen aufweisen, welche für die Ionen und den Ionisierungszustand eines Gases der Theorie nach tatsächlich maßgebend sind, worauf H. Schering[1]) zuerst hingewiesen hat. Bei allen Messungen der sog. „Zerstreuung“ ist es aber durchaus notwendig, daß man sich vollkommen darüber klar ist, was man eigentlich mißt. Je nach der verwendeten Leiteranordnung und der benutzten Spannung können dabei verschiedene Fälle vorliegen; dieselben laufen in zwei Extreme aus, welche besonders einfache und klare Beziehungen zu den den Ionisierungsprozeß definierenden Größen aufweisen. Um deutlich hervortreten zu lassen, warum die im Folgenden näher zu beschreibenden Anordnungen und die benutzten Spannungen gerade so, wie sie hier verwendet worden sind, gewählt wurden, und um die nach beiden Richtungen hin erhaltenen Beobachtungsergebnisse geeignet diskutieren zu können, möge dieser fundamentale Punkt schon hier näher erläutert werden:

Wir denken uns eine isolierte Leiteranordnung innerhalb lauter geerdeter Leiter so aufgestellt, daß beim Laden der ersteren in dem Zwischenraume ein elektrisches Feld von möglichster Gleichförmigkeit entsteht; das Ideal dieses Falles wäre eine zentrisch in einer Hohlkugel aufgehängte isolierte und geladene Kugel. Für die folgenden Betrachtungen genügt es anzunehmen, daß die Feldkraft an einer Stelle diejenige an einer anderen Stelle nicht um das zehn- oder hundertfache übertreffe.

In dem Hohlraume finde die Ionisierung statt: „Ionisierungsraum“; dabei kann entweder der Fall vorliegen, daß an jeder Stelle Ionen gebildet werden durch den Zerfall eingedrungener gasförmiger Emanationen und durch die von ihren Zerfallsprodukten ausgehenden Strahlungen; oder aber der Fall, daß bereits fertig gebildete Ionen durch Diffusion oder durch äußerst langsam (!) verlaufende Luftbewegungen in den Ionisierungsraum eingeführt werden; im allgemeinen werden beide Umstände immer gleichzeitig zusammenwirken.

Wir denken uns nun die innere Leiteranordnung, die „Elektrode“, dauernd auf einem bestimmten Potentiale erhalten, z. B. dadurch, daß wir sie mit einer Akkumulatorenbatterie von großer Kapazität verbinden, deren anderer Pol geerdet bleibt. Die Batterie möge in jedem Falle im Stande sein, genügend viel Elektrizität nachzuschaffen um die Anfangspotentialdifferenz zwischen Elektrode und Umgebung unter allen Umständen aufrecht zu erhalten; dann durchsetzt ein elektrisches Kraftfeld von bestimmter (auch von der Ionisierung abhängiger) Anordnung den Ionisierungsraum. Unter der Wirkung desselben beginnen die Ionen zu wandern und pro Zeiteinheit eine bestimmte Elektrizitätsmenge auf der Elektrode zu neutralisieren, zu „zerstreuen“. Wir wollen annehmen, daß wir diese Menge in irgend einer Weise genau messen könnten.

Dann sind folgende zwei extreme Fälle möglich: 1. Die Ladespannung ist niedrig, das Feld so schwach, daß sein Hinzutreten den Ionisierungszustand nicht merklich ändert. Alsdann fließt durch jede geschlossene Fläche, die man sich um die Elektrode herum gelegt denkt, pro Zeiteinheit dieselbe Elektrizitätsmenge, und diese ist für jede Stelle proportional

[1]) H. Schering, Inaug.-Diss. Göttingen 1904 und Ann. d. Phys. (4), 20, 174, 1906.

der Raumdichte der Ladung daselbst und der Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen; diese letztere ist aber wieder proportional der Feldkraft $\mathfrak{E}$; der Proportionalitätsfaktor ist die spezifische Wanderungsgeschwindigkeit v. Der „Strom“ ist also der Feldkraft selbst proportional, es herrscht sog. „freier Strom“, für welchen das Ohmsche Gesetz gilt. Der Beobachtung zugänglich wird in unserem Falle die pro Zeiteinheit in die Elektrode einfließende Elektrizitätsmenge von dem der Ladung entgegengesetzten Vorzeichen; sie ist ebenfalls proportional der Ladespannung, oder der Feldkraft $\mathfrak{E}_0$ an der Oberfläche (und damit der hier vorhandenen Oberflächendichte $\eta = 4\pi\, \mathfrak{E}_0$). In diesem Falle gilt also das „Coulombsche Zerstreuungsgesetz“. Ist O die Gesamtoberfläche des geladenen Systems, so ist die neutralisierte Elektrizitätsmenge:

$$O \cdot \overset{\pm}{\varrho}_0\, \overset{\pm}{v}\, \mathfrak{E}_0$$

wo $\varrho_0 = n_0 \cdot \varepsilon$, n die Ionendichte und ε die elementare Ionenladung ($4{,}65 \cdot 10^{-10}$ el. stat. Einheiten) ist. Diese Menge ist also proportional dem Produkte $\overset{\pm}{\lambda} = \varepsilon\, \overset{\pm}{n}\, \overset{\pm}{v}$, welches bekanntlich das Leitvermögen für die eine oder andere Ionenart darstellt: Die Zerstreuungsmessungen geben ein Maß für das polare Leitvermögen.

2. Die Ladespannung ist hoch, das Feld so stark, daß alles, was pro Zeiteinheit in dem Ionisierungsraume im cbcm an Ionen gebildet wird oder in diesen an solchen eintritt, gegen die Elektrode bzw. gegen die Wände getrieben wird, ehe im Felde ein Verschwinden durch Wiedervereinigung, Molisierung, möglich wird. Ob dieser Fall vorliegt, wird man daran erkennen, daß eine weitere Steigerung der Ladespannung keine Steigerung der eintreffenden Elektrizitätsmenge und damit des Stromes zur Folge hat: es herrscht „Sättigungsstrom“, das Ohmsche Stromleitungsgesetz oder das Coulombsche Zerstreuungsgesetz gilt nicht mehr. In diesem Falle spielt aber auch die Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen keine Rolle mehr, man gewinnt kein Urteil über die „Leitfähigkeit“ der Luft, sondern mißt die Elektrizitätsmenge, welche in dem Augenblicke der Beobachtung in dem Ionisierungsraume in Form freibeweglicher Ladungen vorhanden war.

Wir haben Registrierungen für diese beiden Fälle durchgeführt. Zwischen diesen Extremen liegen die Fälle der „ungesättigten Strömungen“, welche kompliziertere und wenig übersichtliche Fälle darstellen. H. Schering[1]) hat unter Benutzung „freier Ströme“ ein Verfahren ausgearbeitet, welches zur Registrierung der elektrischen Leitfähigkeit in der Atmosphäre geeignet ist. Die von uns nach dem unter 1. angegebenen Verfahren durchgeführten Registrierungen decken sich also mit den Scheringschen Untersuchungen; wir haben das Hauptgewicht aber auf die nach 2. bei Sättigungsstrom erhaltenen Werte gelegt, welche auch bei weitem die längste Dauer unserer Aufzeichnungen in Anspruch nahmen. Hierbei kam es uns zunächst weniger darauf an, lange zusammenhängende Registrierungen zu erhalten, als vielmehr die Bedingungen und die Gesetze der Ionenführung der untersten, dem Erdboden unmittelbar anliegenden Schichten genauer festzustellen. Daß wir die Zerstreuungsbestimmungen an der Grenzschicht zwischen Erdboden und Luftmeer vorgenommen haben, hatte seinen Grund in einer Reihe von Ergebnissen neuerer luftelektrischer Messungen, die darauf hindeuten, daß gerade diese Schichten von besonderer

[1]) H. Schering, Gött. Nachr., Math.-phys. Kl. S. 201, 1908.

Bedeutung für den Elektrizitätshaushalt der Atmosphäre sind. Ist es doch seit den grundlegenden Arbeiten von Elster und Geitel unzweifelhaft geworden, daß der Hauptionisator der Atmosphäre in Form von Emanationen und der mehr oder weniger durchdringenden Strahlungen der im Untergrunde vorhandenen radioaktiven Elemente dem Erdboden entstammt. Ferner ist der große Ionenreichtum der Bodenluft gegenüber der Freiluft wiederholt und an den verschiedensten Erdorten festgestellt worden. In der genannten Grenzschicht findet sich also ein großes Gefälle der Ionendichte. Hier müssen sich daher alle jene Transpirationsprozesse abspielen, die zuerst Zeleny[1]), dann Simpson[2]), Ebert und L. Endrös[3]) experimentell studiert haben, und welche von Ebert zur Erklärung der Aufrechterhaltung des erdelektrischen Feldes mit herangezogen wurden. Gerade über die quantitative Bedeutung dieses Faktors in der Natur hatten sich Meinungsverschiedenheiten herausgebildet[4]). Es war daher von Wichtigkeit seinen Einfluß in einem speziellen Falle festzustellen. Hierzu waren gelegentliche Stichproben nicht ausreichend. Alle meteorologischen Faktoren, welche einen Anhub der auf dem Boden lastenden Luftschichten und die Ausbildung aufsteigender Luftströme bedingen, müssen auf diesen Prozeß einen Einfluß ausüben, da der Boden im allgemeinen vollkommen luftdurchlässig, und daher der Übertritt von Bodenluft mit ihren Emanationen und Ionen in das Luftmeer ein durchaus wechselnder ist. A. Daunderer[5]) hat für dieses Aus- und Eintreten von Bodenluft den Ausdruck „Bodenatmung" eingeführt, der uns sehr zweckmäßig gewählt erscheint, und der daher von uns im Weiteren beibehalten werden soll.

Aus den genannten Gründen haben wir die Registrierungen unmittelbar am Erdboden vorgenommen. Die später gegebene Berechnung der Ionenerzeugung in unmittelbarer Nähe des Bodens zeigt das tatsächliche Vorhandensein eines großen Gefälles der Ionendichte in dem untersuchten Gebiete. Da wir ferner für ausreichenden Windschutz sorgten, sind unsere Beobachtungen in hohem Grade frei von den Beeinflussungen der Luftbewegungen, welche sonst gerade die Zerstreuungsmessungen stark und unkontrollierbar zu stören pflegen. Die Versuchsanordnung ist mannigfach variiert worden, indem experimentell die Bedingungen festgestellt wurden, welche eine Registrieranordnung für das genannte Element zu erfüllen hat, wenn sie für Dauerbeobachtungen empfohlen werden soll.

Der Übersicht wegen sei hier noch kurz darauf hingewiesen, welche anderen von den luftelektrischen Elementen außer den genannten noch sonst registriert worden sind. P. Langevin und M. Moulin[6]) führten Registrierungen der in einem Aspirationsapparate eingefangenen, in Form von Ionenladungen in der Luft vorhandenen Elektrizitätsmengen aus. Die Registrierung war eine punktweise. Zu einer kontinuierlichen kann sie umge-

---

[1]) J. Zeleny, Phil. Mag. [5], **46**, 120, 1898.

[2]) G. C. Simpson, Phil. Mag. [6], **6**, 589, 1903.

[3]) H. Ebert, Physikal. Zeitschrift **5**, 135, 1904.

[4]) Vgl. G. C. Simpson, Physikal. Zeitschrift **5**, 325 und 734, 1904; vgl. dazu H. Ebert **5**, 499, 1904 und **6**, 825, 1905. Ferner: H. Gerdien, ebenda **6**, 647; vgl. dazu H. Ebert **6**, 828, 1906.

[5]) A. Daunderer, Über die in den unteren Schichten der Atmosphäre vorhandene freie elektrische Raumladung. Inaug.-Diss. der techn. Hochschule, München 1908, S. 27. Vgl. auch Physikal. Zeitschrift **8**, 281, 1907 und **10**, 113, 1909.

[6]) P. Langevin und M. Moulin, Compt. rend. **140**, 305, 1905; Referat von H. Ebert in der Zeitschrift für Instr.-kunde **25**, 216—218, 1905.

wandelt werden, wenn man einem Vorschlage von Nordmann[1]) folgend, von der auffangenden Elektrode durch einen Wassertropfapparat immer wieder Elektrizitätsmengen entfernt, die proportional der Spannung sind.

Weit zweckmäßiger läßt sich dies durch einen parallel geschalteten sog. „Bronsonwiderstand" erreichen, bei dem durch ein mittels Poloniumpräparates gleichmäßig ionisiert erhaltenes, abgeschlossenes Gas hindurch die entsprechenden Elektrizitätsmengen zur Erde abfließen können.

Mit einem solchen Nebenschluß ausgerüstet, arbeitet schon seit drei Jahren in der Münchner luftelektrischen Beobachtungsstation eine Registrieranordnung[2]), welche die aus dem Erdboden empordringenden Emanationsmengen aufzeichnet.

A. Methode und Anordnung.

1. Auswahl und Prinzip der verwendeten Methode.

Will man den Elektrizitätsausgleich zwischen der Erdoberfläche und den derselben unmittelbar anliegenden Luftschichten unabhängig von dem luftelektrischen Spannungsfelde der Atmosphäre studieren und insbesondere der Frage näher treten, ob aus dem Erdboden selbst geladene Partikelchen in den Luftraum übertreten, so bieten sich hierzu mehrere Wege dar. In München sind der Reihe nach verschiedene Anordnungen durchprobiert worden. Bei der einen war ein Quadratmeter Bodenfläche mit einer großen, unten offenen aber gegen das umliegende Erdreich luftdicht abschließenden, nach oben hin sich verjüngenden Weißblechglocke überdeckt. In den Hals derselben war, von den Wänden durch Hartgummi mit Paraffinausguß isoliert ein Diaphragma aus Metallspähnen eingesetzt, durch das die Bodenluft hindurchstreichen mußte; der gut leitende Pfropf war mit einem Quadranten-Elektrometer verbunden. Durch abwechselnde Bestimmung der Aufladung, den das Diaphragma erfährt, und des Verlustes, der durch das ionisierte Gas unter der Glocke hindurch und über die Isolationen hinweg, die erworbene Ladung wieder zu zerstreuen sucht, erhält man ein Urteil über diese selbst. Später wurde zu der im Prinzip durch die schematische Skizze Fig. 1 auf Tafel II erläuterten Anordnung übergegangen, die wie folgt wirkt:

Eine größere ebene horizontale, gut isolierte Platte P ist dem Erdboden E in wenigen Zentimetern Abstand frei gegenübergestellt; unten ist das lockere Kiesmaterial des Untergrundes angedeutet, darüber die Humusschicht mit ihren Kapillaren; die Platte wird von dem mit Natriumtrocknung versehenen großen „Gockelisolator"[3]) J gehalten und ist durch die Zuleitungen Z dauernd mit einem Quadrantenpaare Q_1 eines Elektrometers verbunden, dessen Nadel N und anderes Paar Q_2 unter Zwischenschaltung eines Commutators C mit dem einen Pole einer Hochspannungsakkumulatorenbatterie B verbunden ist; der andere Pol der Batterie ist an Erde gelegt. Die Platte P, alle Zuleitungen Z sowie das Elektro-

---

[1]) Chr. Nordmann, Compt. rend. **138**, 1418 und 1596, 1904; **140**, 430, 1905, vgl. auch das auf der vorigen Seite unter [6]) genannte Referat von H. Ebert.

[2]) Vgl. H. Ebert, Physikal. Zeitschrift **10**, 346, 1909.

[3]) A. Gockel, Physikal. Zeitschrift **6**, 328, 1905.

meter selbst sind durch Schutznetze S und geeignete Schutzkästen aufs sorgfältigste vor jeder äußeren Influenzwirkung geschützt. Allstündlich wird durch ein Uhrwerk automatisch die Zuleitung zur Platte bei b für einige Minuten mit der Spannungsquelle in Verbindung und dadurch der Lichtzeiger der photographischen, zum Elektrometer gehörigen Registriervorrichtung auf die Ruhelage zurückgebracht. Alsbald wird dieser Kontakt bei b aber wieder gelöst und die Platte sich selbst überlassen. Unter der Wirkung der durch das künstliche Feld zwischen P und E herangezogenen Ionen (und der nie ganz zu vermeidenden Verluste über die isolierenden Stützen hinweg und der Ausgleiche zwischen den geladenen Teilen und den geerdeten Schutzhüllen in der daselbst befindlichen ionisierten Luft) erniedrigt sich die Spannung auf P und der Lichtzeiger wandert, durch seine Bewegung gewissermaßen über die während einer Stunde „zerstreute" Elektrizitätsmenge integrierend; auf der Registrierwalze erscheinen Striche, deren Länge das Maß für die pro Stunde neutralisierte Elektrizitätsmenge selbst bildet. Wird die Ladespannung so hoch gewählt, daß sicher auch am Ende einer Stunde, wo die Neuaufladung einsetzt, noch Sättigungsstrom besteht (was durch besondere Versuche festzustellen ist), so tragen zu dem registrierten Zerstreuungseffekte alle Ionen von dem der Ladung entgegengesetzten Vorzeichen bei, welche in der Stunde innerhalb des Raumes EP gebildet wurden oder in diesen eindrangen.

Um die Ladungsverluste über die Stützen und nach den Schutzhüllen hin gesondert bestimmen zu können, läßt sich die Platte bei s von den Zuleitungen Z losschrauben; zwischengeschaltete Registrierungen geben dann Aufschluß über diese Verluste, die sich als ziemlich konstant ergeben haben und für die dann ein Mittelwert gebildet werden konnte, der von allen Zerstreuungswerten in Abzug zu bringen war.

Bestimmt man dann noch die Spannungsempfindlichkeit des Instrumentes (bei der angegebenen Schaltung und den hohen Potentialen, die zur Verwendung kamen, ist der Ausschlag nicht mehr proportional der sich zwischen den beiden Quadrantenpaaren entwickelnden Spannungsdifferenz), sowie die Kapazität C des gesamten, aus Elektrometer, Zuleitungen und Platte bestehenden Systems und die Kapazität c des Systems bis zur Trennungsstelle s hin, also ohne Platte, so kann man aus der Länge der während je einer Stunde registrierten Wege des Lichtzeigers auf die an der Platte neutralisierten Elektrizitätsmengen in absolutem Maße schließen. Bezüglich verschiedener Korrektionen, z. B. der zwischen P und S sich ausbildenden Strömungen vgl. w. u.

Könnte man mit einer solchen Platte eine ganze Landschaft überdecken, so würden die erhaltenen Werte nicht nur einen qualitativen Anhalt über die Art des Ionenaustausches zwischen Boden und darüberliegendem Luftraume ergeben, sondern sie würden auch die Höhe des durch diesen Austausch tatsächlich übermittelten Betrages an Elektrizität seiner Quantität nach übersehen lassen.

Das Experiment, wie wir es wirklich ausführen können, muß aber weit hinter diesem Ideale zurückbleiben; wir vermögen aus praktischen Gründen kaum größere als einen Quadratmeter überdeckende Platten zu verwenden. Dann müssen aber die erhaltenen Werte kleiner als jene ausfallen, mit denen sich bei dem Ionenaustausche zwischen Boden und Luftmeer ein Quadratmeter tatsächlich in der Natur beteiligt. Denn da wir eine Kommunikation der Luft durch die Schutznetze S Fig. 1 hindurch zulassen müssen, so werden sowohl Ionen wie Ionen erzeugende Emanationen, welche aus dem Boden auf-

steigen, durch jeden Luftzug zerstreut und emporgehoben, ohne daß sie dem künstlichen Felde zwischen P und E zu eigen würden. Es ist daher von vornherein nicht anders zu erwarten, als daß die gewonnenen Registrierungen nur einen Anhalt über den allgemeinen Verlauf dieses wichtigen erdelektrischen Elementes geben werden, seine Abhängigkeit von den meteorologischen Faktoren, der Jahres- und Tageszeit, daß aber die erhaltenen Absolutwerte weit hinter denen zurückstehen, welche in der Natur selbst anzunehmen sind.

Nach bisherigen Erfahrungen war eine nicht unerhebliche Unipolarität in der Zerstreuung zu erwarten, deren Vorhandensein zwar wiederholt und zum Teil sehr energisch angezweifelt worden ist, deren direkter Nachweis aber augenscheinlich für das ganze Problem des Elektrizitätshaushaltes des Systems: Erde-Luftmeer von großer Wichtigkeit sein mußte. Damit hierbei eine solche Unipolarität nicht etwa durch das Erdfeld nur „vorgetäuscht" wurde, mußten die Versuche an einem Orte angestellt werden, der nach dieser Richtung hin die weitestgehenden Garantien bot. Als überaus günstiges Versuchsfeld erwies sich der dem Terrain der technischen Hochschule in München durch Ankauf 1905 angegliederte sog. Ostermaier'sche Garten, ein Terrain, welches rings von hohen Gebäuden umgeben und mit stattlichen Bäumen bepflanzt ist. Unter diesen ließ sich mit dem Exnerschen Instrumentarium für Potentialmessungen keine Spur des Erdfeldes mehr nachweisen, so daß die Bodenschicht als völlig störungsfrei gelten kann. Aber auch die meteorischen Niederschläge mußten von der Anordnung fern gehalten werden, weil dieselben neue Störungen durch direkte Übertragung von elektrischen Ladungen, ferner durch Zerspritzungseffekte und durch niedergebrachte induzierte Aktivitäten ergeben haben würden. Wir entschlossen uns daher, die Plattenanordnung durch eine luftige, aber regen- und schneesichere Hütte zu überbauen, wenn dadurch auch aufs Neue Abweichungen von der Wirklichkeit eingeführt wurden und zwar augenscheinlich Abweichungen in dem Sinne, daß die gefundenen Werte zu klein ausfallen mußten.

Von großem Vorteile wäre es ferner gewesen, wenn zwei völlig getrennte Anordnungen nebeneinander gleichzeitig in Betrieb hätten erhalten werden können, eine für die positiven, die andere für die negativen Ionen; bei Fortsetzung der Registrierungen ist auch eine Erweiterung der Anlage in diesem Sinne geplant. Seither stand aber nur eines von den eigens für diese Registrierzwecke konstruierten Quadrantenelektrometern[1]) zur Verfügung; das andere war mit Abzählung der dem Erdboden entsteigenden Emanationsmengen beschäftigt.

Da es uns aber wesentlich mit auf den eben erwähnten Nachweis ankam, daß tatsächlich aus dem Erdboden Elektrizitätsmengen mit einem Überschusse an positiven Ionen hervortreten, so war zunächst eine Anordnung von Vorteil, bei der zwei Platten mit ihren Zuleitungen an die beiden Quadrantenpaare desselben Elektrometers angeschlossen waren. Denn dadurch war nicht nur die Möglichkeit geboten, durch Benutzung bald der einen bald der anderen Platte Einseitigkeiten und Zufälligkeiten der Anordnung bis zu einem gewissen Grade zu eliminieren, sondern vor allem auch die Möglichkeit einer Differentialschaltung der einen, + geladenen Platte gegen die andere, — geladene; gerade bezüglich des genannten Überschusses und seines zeitlichen Verlaufes war hierdurch ein direktes Urteil zu gewinnen.

[1]) Vgl. H. Ebert, Ein Quadrantenelektrometer für luftelektrische Registrierungen. Zeitschrift für Instr.-kunde **29**, 169, 1909.

Endlich kam es uns darauf an, über die oben (S. 6) erwähnte „Bodenatmung“ nähere Auskunft zu erhalten. Wir haben die Platten daher in flache aber vertiefte Gruben eingelassen, an deren Boden der Untergrund direkt zu Tage trat, und in der unmittelbaren Umgebung das Austreten von Bodenluft dadurch verhindert, daß wir den Boden der Beobachtungshütte mit einer Schicht von Stampfbeton bedeckten. Dadurch wird augenscheinlich der Effekt einer eventuellen Bodenatmung künstlich gesteigert. Denn die Humusschicht wird im Allgemeinen einen größeren Widerstand darbieten als die von größeren Hohlräumen, Gängen und Lücken durchsetzten Gerölle und Geschiebe des Untergrundes. Namentlich wenn durch Regen die Durchlässigkeit des Bodens in der Umgebung der Hütte in Folge des Verschlusses, den dabei die Erdkapillaren erfahren, stark herabgesetzt ist, wird die Bodenluft, etwa bei sinkendem Luftdrucke vorwiegend durch die künstlichen Öffnungen in der Betondecke ihren Weg nehmen; diese erinnern dann im Kleinen an die „blasenden Brunnen“ welche Ed. Sarasin[1]) in luftelektrischer Hinsicht untersuchte. Es ließ sich zeigen, daß bei diesem rascheren Ausströmen der Bodenluft in die Atmosphäre die Zerstreuungswirkung herabgesetzt wird; dieselbe wird gesteigert, wenn die Bodenluft durch eine weniger durchlässige Schicht aufgehalten und gezwungen wird, unter dieser Decke längere Zeit zu stagnieren. Es tritt dann außerdem eine eigentümliche „Diaphragmenwirkung“ hinzu, wie sie bei den Versuchen von H. Ebert[2]) zum Nachweise verwendet wurde, daß tatsächlich von ionisierter, durch enge Kanälchen streichender Luft positive Ladung in die Umgebung hinausgetragen, negative Ladung im Diaphragma selbst zurückgelassen wird. Wir haben diese Diaphragmenwirkung, wie sie in der Natur offenbar der Humusschicht und der Vegetationsdecke zukommt, direkt der aus dem Boden austretenden Luft gegenüber durch Sanddiaphragmen nachweisen können.

Wie man sieht, war die ganze Anordnung zunächst mehr darauf angelegt, die maßgebenden Faktoren erst einmal experimentell festzulegen, als die in der Natur selbst sich abspielenden Vorgänge durch die Registrierungen darzustellen. In diesem Sinne sind auch die erhaltenen Beziehungen zu den meteorologischen Elementen aufzufassen. Zwar der Luftdruck verbreitet sich in der Hütte, wo er mitregistriert wurde, in gleicher Weise wie im Terrain außerhalb, so daß der Quadratzentimeter Bodenfläche immer in gleicher Weise belastet war. Die in der Hütte registrierte Lufttemperatur wich aber im allgemeinen stark von der Aussentemperatur ab, so daß der Einfluß dieses Elementes in anderer Weise zum Ausdruck kam, wie im freien Felde. Namentlich wenn sich im Sommer in Folge starker Insolation die Innentemperatur im Registrierraume stark erhöhte, konnte es nicht ausbleiben, daß die aufsteigende und durch die Jalousien des Dachaufsatzes entweichende warme Luft eine gewisse saugende Wirkung auf die Bodenöffnungen ausübte. Alle diese Umstände sind bei der Diskussion des Beobachtungsmateriales mit zu berücksichtigen.

---

[1]) Ed. Sarasin, Physikal. Zeitschrift 6, 708, 1905.

[2]) H. Ebert, Physikal. Zeitschrift 5, 135, 1904.

2. Beschreibung der definitiven Anordnung.

Zunächst möge die luftelektrische Beobachtungshütte selbst kurz geschildert werden, welche in Fig. 2 Tafel I in Aufriß und Grundriß im Maßstabe 1 : 40 dargestellt ist. In dieser Figur erblickt man links die hier zu beschreibende Anordnung, während rechts eine Registrieranordnung zur Bestimmung der aus dem Erdboden kommenden Emanationsmengen dargestellt ist, welche unterdessen in der Physikalischen Zeitschrift (**10**, 346, 1909) beschrieben worden ist (vgl. auch Zeitschrift für Instrumentenkunde **29**, 176, 1909). — Hierauf soll die getroffene Gesamtanordnung beschrieben werden, welche gesondert in Fig. 3 Tafel I, ebenfalls in Auf- und Grundriß im Maßstabe 1 : 10 dargestellt ist; zum Vergleiche kann hierbei auch die schematische Skizze Fig. 1 Tafel II herangezogen werden; in allen drei Figuren sind die gleichen Teile mit denselben Buchstaben bezeichnet.

Die Beobachtungshütte besteht aus dem 3 m breiten und 4 m tiefen Hauptraume, dem eigentlichen Registrierraume, in welchem die Instrumente aufgestellt sind, und einem kleinen 1×1 m² großen Vorraume, der durch einen dunklen Vorhang von dem ersteren getrennt ist. Die aus übereinandergreifenden Schalbrettern bestehenden, an Vertikalstützen befestigten Wände haben an den Seiten 2,00, in der Mitte 2,80 m Höhe. Auf der Mitte des schrägen mit Teerpappe gedeckten Daches sitzt ein kleiner an den Seiten durch Jalousien geschlossener Dachreiter, der für genügende Ventilation sorgt. Damit etwa eindringendes Regenspritzwasser nicht in das Innere der Hütte gelangen kann, ist unter dem Ventilationstürmchen das große Blechgefäß *Bl* aufgehängt. Zwei seitliche, durch Läden verschließbare Fenster lassen beim Montieren oder Ummontieren der Apparatanordnungen genügend Licht ein. Sind die Läden geschlossen, so ist die Hütte genügend lichtdicht, da alle Fugen außen mit Teerpappe übernagelt, innen mit schwarzem Molton überzogen sind. Das Auswechseln der Registrierstreifen geschieht im Dunkeln. Beim Ablesen der Vergleichsinstrumente (Baro- und Thermometer) sowie beim Kontrollieren der Apparate, ihrer Aichung u. s. w., oder bei sonstigen Arbeiten von kurzer Dauer an der Hütte werden die Spalte der Registrierapparate abgedeckt und dann die Hütte durch Glühlampen erleuchtet. An der Rückwand, in den Vorderecken und an den Vorderseiten befinden sich Tragbretter und Regale zum Absetzen von Hilfsapparaten.

Die Hütte selbst steht auf einem Terrain, welches noch ganz zum Gebiete des jungdiluvialen fluvioglazialen Schotters der Niederterasse gehört. Nach Abhub der Bodenkrume wurde auf den kalkhaltigen groben Kies der Schottermassen eine 10 cm dicke Schicht von Stampfbeton aufgetragen und auf diese ein 2 cm dicker Zementestrich ausgebreitet. In dieser Bodenschicht waren zwei Öffnungen ausgespart, links eine rechteckige O_1 von 60×40 cm² Fläche und 10 cm Tiefe für die hier zu beschreibende Anordnung und rechts eine kreisrunde O_2 von 45 cm Durchmesser und 110 cm Tiefe für die oben erwähnte Emanationsregistrierung. Außerdem ragten durch die Bodendecke vier Pfeiler F_1 bis F_4 hindurch, je zwei für die Elektrometer (F_1 und F_3) und zwei andere, längliche (F_2 und F_4) für die dazu gehörigen Registrierapparate. Erstere waren mit Zementplatten von 35×48 cm² Fläche bedeckt, deren Oberfläche 54 cm über dem Boden lag, letztere trugen Platten von 48×104 cm² und hatten 60 cm Höhe. Zwischen den direkt in den Untergrund hineinbetonierten Pfeilern und dem Boden liefen ringsum 1 cm

breite Isolationsspalte, so daß sich Erschütterungen vom Boden aus nicht auf die Instrumentenpfeiler übertragen konnten. Aussen war an die Beobachtungshütte Humusboden mit Vegetationsdecke angeböscht, so daß der Regen allseitig ablaufen mußte.

Die zur Registrierung der Zerstreungswerte dienende Gesamtanordnung zerfällt in mehrere Teile:

a) Die Plattenanordnung.

Die rechteckige Bodenöffnung 0_1 ist durch eine vertikale Scheidewand in der Mitte in zwei nebeneinanderliegende Kammern von je 30×40 cm², also rund 1/8 m² freier Öffnung unterteilt, welche beide durch die Betondecke hindurch bis zum Kiesuntergrund hinabreichen. Sie sind beide an den Seiten durch Eisenblechwände, welche in die Bodenschicht einzementiert sind, abgeschlossen, so daß hier keine Luft eintreten oder entweichen kann. Die die beiden Bodenöffnungen von einander trennende Zwischenwand aus Eisenblech trägt oben ein schmales Querblech.

Nach oben hin sind die Öffnungen durch Blechdeckel abgedeckt, welche aus je zwei Teilen bestehen, die mittels zweier an sie angelöteter Handgriffe so gegeneinander geschoben werden, daß sie in der Mitte etwas übereinandergreifen. Hier sind sie halbkreisförmig ausgeschnitten, so daß eine 12 cm im Durchmesser haltende kreisförmige Öffnung frei bleibt. Auf die Deckel selbst sind zwei halbzylindrische Schutznetze S (Fig. 3 oben) aufgelötet, welche beim Zusammenschieben der beiden Deckelhälften eine Schutzröhre gegen elektrische Influenzwirkungen bilden.

Sehr störend waren im Anfange die Erdspinnen, welche von hier aus in die Öffnungen hineinkrochen und durch ihre Fäden häufig Kurzschlüsse herbeiführten. Wir haben uns ihrer in einfachster Weise dadurch entledigt, daß wir die Deckeloberflächen dick mit Fliegenleim bestrichen, an dem die ungebetenen Gäste kleben blieben.

In jede dieser rechteckigen Öffnungen wurde nun je eine der Zerstreuungsplatten P_1 und P_2 gesenkt. Dieselben sind ebene 20×30 cm² große, an den Ecken abgerundete, an den Rändern umgebörtelte Scheiben aus 0,9 mm dickem verzinkten Eisenbleche. Die Platten werden in der Mitte von vertikalen, 6 mm dicken Messingstäben gehalten, welche unten in den mit den Platten verlöteten Rohransätzen r_1 r_2 festgeschraubt werden; Anschlagringe sorgen dafür, daß die Platten immer wieder in derselben Höhe genau in der Mitte der Bodenöffnungen zu stehen kommen. Oben werden die Plattenstäbe in zylindrischen Hülsen gehalten, in denen sie mittels kleiner Schräubchen s_1 s_2 befestigt werden. Die spitzen Enden dieser Schrauben greifen in Nuten ein, welche in die oberen Enden der Plattenträger eingedreht sind, so daß auch hier immer genau die gleiche Plattenstellung gewährleistet wird.

Diese Hülsen bilden das untere Ende der beiden großen Gockelisolatoren J_1 J_2, die an dem eisernen auf dem Hüttenboden festzementierten Gestelle GG von unten her angeschraubt sind. Dieses Gestelle GG, welches weit genug über die beiden Bodenöffnungen hinweg greift, ist also der eigentliche Träger der ganzen Plattenanordnung. Es ist 52 cm hoch, so daß die Isolierstellen J_1 J_2 dem direkten Einflusse der Bodenluft ziemlich vollkommen entrückt sind. An den die Isolatoren bis auf eine schmale Fuge umschließenden Schutzhüllen erblickt man beiderseitig die Natriumtrockengefäße.

b) Die Ladevorrichtung.

Am unteren Ende der Isolatoren $J_1 J_2$, unmittelbar über der Stelle, wo die Platten befestigt werden, sind noch auf den isolierten Teilen die beiden Messingstreifen $b_1 b_2$ befestigt, welche an dem einen Ende eine Klemmschraube K, am anderen ein Quecksilbernäpfchen n tragen.

Mitten auf dem Gestelle G ist ferner der Querträger T befestigt, der an seinem rechten nach unten umgebogenen Ende die Röhre R trägt. In dieser dreht sich die Hülse H, aus der am Ende zwei, mit Riefen versehene zylindrische Hartgummiträger herausschauen, in denen je ein Messingstab mit einem Stellstift st am linken Ende mittels einer Druckschraube befestigt ist. Die mit Gewinde versehenen Stellstifte tragen unten je ein kurzes Stück Platindraht, durch das beim Eintauchen in die unmitelbar darunter stehenden Quecksilbernäpfchen n der Kontakt hergestellt wird. Durch Drehen an den Stellstiften kann erreicht werden, daß der Kontakt auf beiden Seiten genau im gleichen Momente hergestellt oder aufgehoben wird.

Am rechten Ende tragen die Messingstäbe kleine Klemmschrauben, mittels deren eine Drahtverbindung mit der Ladebatterie oder aber auch zwischen den beiden Stäben selbst hergestellt werden kann, falls dies die gewählte Schaltungsweise erfordert (wie z. B. in Fig. 3 unten angenommen ist).

Das Gestänge mit den Kontaktstiften wird durch eine Art Wippenanordnung bewegt. Durch einen Ausschnitt in dem Rohre R geht ein auf der Hülse H befestigter Zapfen Z (Fig. 3 oben), an dem die Wippenstange W befestigt ist. Durch die Zapfenführung wird verhindert, daß sich die Hülse H ihrer Länge nach verschiebt, es wird ihr nur eine Drehung um ihre Achse gestattet. Die Stange W trägt an ihrem rechten Ende ein grösseres Gewicht, an ihrem linken eine Öse, in die ein über eine an der Hüttendecke befestigte Rolle geführter Schnurlauf eingeknüpft ist, der am anderen Ende ein kleineres Gewicht trägt. Endlich hängt links unten noch das zylindrische Weicheisengewicht E an W. Die drei Gewichte sind so abgeglichen, daß ein geringer Zug am linken Ende genügt, um die Wippe W nach links nieder zu ziehen, wodurch ein Eintauchen der Platinstifte st in die Näpfchen n herbeigeführt wird, daß aber nach Aufhören des Zuges die Wippe von selbst nach rechts wieder herunterklappt, die Kontakte bei n also wieder gelöst werden. (Geeignet angebrachte, in der Figur nicht mitgezeichnete Anschläge sorgen für eine geeignete Begrenzung des Hubes.)

Der Zug wird von der Magnetisierungsspule M, die unten mit etwas Eisen gefüttert ist, ausgeübt, sowie durch die Uhr U (vgl. Fig, 2) Kontakt gegeben wird.

Dies geschieht in folgender Weise: Auf das Ende des Stundenzeigers einer größeren Federwerkuhr ist ein Messingbügel aufgesteckt, der unten zwei parallel stehende Schäufelchen aus dünnem Platinblech trägt. Diese gleiten bei jedem Umgange durch die Kuppen zweier Quecksilbermassen, welche sich in zwei Rinnen befinden, die in eine vor der Uhr aufgestellte, durch Fußschrauben in die richtige Lage zu bringende Ebonitplatte eingetieft sind. Zu diesen Rinnen ist der die Spule M speisende Strom geführt. Wir verwenden hierbei direkt den Zentralenstrom mit seinen 110 Volt Spannung; die aus Manganindraht gewickelte Spule M hat einen so großen Widerstand, daß sie das ganze Spannungsgefälle aushält, ohne sich während der wenigen Minuten des allstündlichen Stromschlusses allzusehr

zu erwärmen; dabei ist die Stromstärke noch groß genug, um den genügenden Zug auf den Eisenkern *E* auszuüben. Aber bei der hohen Spannung würde bei der Unterbrechung des Stromes an den Quecksilberrinnen ein zu heftiges Funkenspiel einsetzen. Dieser Schwierigkeit sind wir dadurch begegnet, daß wir hier einen Kondensator von 0,2 Mikrofarad als Funkenfänger parallel geschaltet haben; er ist in Fig. 2 rechts von der Uhr angedeutet; links derselben ist ein Stromschlüssel angebracht, durch den der die Kontakte gebende Strom überhaupt abgestellt werden kann.

Bei *B* erblickt man die die Platten allstündlich neu aufladende Batterie. Es ist dies eine in einem besonderen Schranke eingebaute Akkumulatorenbatterie von 120 Zellen, Muster der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt von Bornhäuser in Ilmenau (Thüringen). Dieselbe kann an Ort und Stelle von der Zentrale aus unter Vorschalten geeigneter Glühlampen geladen und dann auf Spannung umgeschaltet werden, und zwar können die Spannungen von 60 Volt an in Stufen von 10 Volt bis zu 240 Volt gesteigert werden. Die Spannungsleitung ist von der Batterie zunächst nach dem aus Paraffin gefertigten und völlig eingebauten Commutator *C* geführt. Ein vor die Batterie und den Commutator gestelltes Schutznetz *N*, durch welches die gut isolierten Leitungen nach den Platten hindurchgeführt sind, soll die Plattenanordnung vor störenden Influenzwirkungen von dieser Seite her schützen.

Im vorstehenden ist die Anordnung beschrieben, wie sie getroffen wurde, wenn mit demselben Vorzeichen längere Zeit hindurch registriert werden sollte. Wir haben aber auch eine Anordnung ausgearbeitet, welche nach jeder Stunde außer der Neuaufladung auch noch eine Commutierung des Vorzeichens automatisch bewerkstelligt. Hierbei traten aber bei höheren Spannungen störende dielektrische Nachwirkungen der von uns verwendeten Hartgummiisolatoren auf, so daß wir diese zweite Anordnung nicht in Betrieb genommen haben; von ihrer Beschreibung soll daher auch Abstand genommen werden.

c) Das Elektrometer und die Registriervorrichtung.

Auf dem Betonpfeiler F_1 (Fig. 3) links von der beschriebenen Anordnung erblickt man den über das Elektrometer gedeckten Schutzkasten, rechts sieht man die Anordnung zur photographischen Registrierung. Beides, Elektrometer und die verwendeten Registrierapparate sind in der Zeitschrift für Instrumentenkunde (29, 169, 1909) ausführlich beschrieben, so daß hier wenige Bemerkungen genügen. Da hauptsächlich mit Doppelschaltung gearbeitet wurde, war es nötig, der Nadel die gleiche Spannung zuzuführen, auf der die eine Platte dauernd erhalten wurde. Dazu sind oben in dem rechteckigen Schutzkasten des Elektrometers beiderseitig Öffnungen angebracht, in die kurze Rohrstücke eingelötet werden, die mit Paraffin ausgegossen sind. Durch achsiale Bohrungen in diesen Paraffinisolatoren wurde die Zuleitung entweder von der einen oder anderen Seite her eingeführt, je nachdem mit welcher Platte, der linken oder rechten, gearbeitet wurde; die Öffnung auf der anderen Seite war dabei dauernd durch einen Deckel geschlossen. Die Zuleitungen von den Platten nach den Quadranten, die an die Klemmschrauben K_1 K_2 angeschlossen sind, gehen durch zwei unten am Schutzkasten angebrachte schlitzartige bis zum Boden reichende Öffnungen; durch sie ragen die Schutzhülsen über den Zuleitungen vom Elektrometer her heraus. Zum weiteren Abschluß des Kastens sind von unten her Bleche vor die

unteren Teile der eben erwähnten Kastenöffnungen gestellt. Hierdurch wird erreicht, daß sowohl Influenzstörungen wie Luftströmungen abgehalten werden, ohne daß doch die Verbindung eine starre ist, so daß Erschütterungen des Schutzkastens, etwa infolge von Wind, nicht auf das Elektrometer übergreifen können.

Die Zuleitungen sind zwischen den Klemmen K und den auf die Quadrantenzuleitungen geschobenen dünnwandigen Verbindungsröhrchen nicht wieder gestützt, um nicht neue Isolationsstellen einzuführen. Solche befinden sich also nur bei J_1 J_2 und im Quadrantenelektrometer selbst, das sich gerade darum für Fälle wie den vorliegenden als geeignet erwies (vgl. die diesbezügliche Abhandlung). Dagegen sind die Zuleitungen ihrer ganzen Länge nach durch Rinnen von Blechen und Netzen so umbaut, daß keine Spur einer Influenzwirkung sich auf die messenden Teile übertragen kann. Nur von der Wippe her kann, wenn sie geladen bleibt, von den Kontaktstiften st nach den Quecksilbernäpfchen n hin eine Beeinflussung stattfinden. Da die hier vereinigten Leiterteile aber einerseits mit der Batterie in dauernder Verbindung blieben, andererseits nach dem Zurückkippen der Wippe W in derselben Konfiguration zu den geladenen, aber nun von ihnen losgetrennten Teilen der Anordnung verbleiben wie am Beginne der betreffenden Registrierstunde, so kann die Registrierung auch hierdurch nicht beeinflußt werden.

Die Projektionslinse für die Registrierung ist hier unmittelbar in der vorderen Schutzkastenwand in geeigneter Höhe, bei L befestigt. Luftdruck und Temperatur werden gleichzeitig an der S. 11 erwähnten Anordnung mitregistriert.

Alle Isolationen sind aus Hartgummi gefertigt, der zur Verlängerung des Isolationsweges mit Riefen versehen ist. Die Oberflächen aller dieser Hartgummiteile waren poliert und mit Schellak (in Aceton gelöst) überzogen. Durchweg wurde darauf gesehen, daß diese Isolatoren, gut gegen Staub und Feuchtigkeit geschützt, möglichst im Inneren von Metallschutzhüllen angebracht waren, die der Außenluft den Zutritt nur durch enge, der Isolation wegen unvermeidliche Spalten gewährten; die Anordnungen waren immer so getroffen, daß diese Spalte sich nach unten öffneten, so daß ein Überbrücken derselben durch Fäserchen möglichst hintangehalten war. Dieser möglichst vollkommene Schutz war notwendig, wenn dadurch auch die Kapazität der ganzen Anordnung etwas erhöht wurde. Alle Schutzhüllen hatten reichliche, leicht kontrollierbare und bequem auswechselbare Natriumtrocknungen. In Folge dieser Schutzmaßregeln, war die Isolation im Allgemeinen eine recht gute, auch während langer Beobachtungsreihen, wiewohl ja die Hütte nur geringen Schutz gegen die Unbilden des Wetters gewähren konnte, und die ganze Anordnung dauernd der Einwirkung der von unten kommenden Bodenluft ausgesetzt war. Aber der Hartgummi bringt den nicht unerheblichen Nachteil mit sich, daß er stärkere dielektrische Nachwirkungen zeigt, als z. B. Bernstein. Dies macht sich namentlich bei häufigen Umladungen hoher Spannungen recht unangenehm fühlbar. Sei es, daß Ladung über die isolierenden Oberflächen hinweg kriecht, sei es, daß das Innere Rückstandsbildungen zeigt, stets erweisen sich die Anfangswerte nach der Umladung durch das vorher angewendete Vorzeichen beeinflußt. Außerdem eignet sich Hartgummi als Konstruktionsmaterial weniger, weil er bekanntlich unter der Wirkung der Atmosphärilien, namentlich derjenigen von Wärme und Kälte „arbeitet", d. h. sich verzieht und wirft. In dieser Beziehung wäre es vorteilhafter gewesen, alle Isolationen aus Bernstein herzustellen, wenn die erheblich höheren Kosten das nicht verhindert hätten.

Im vorliegenden Falle wurden die erwähnten Störungen dadurch umgangen, daß nach jedem Vorzeichenwechsel, namentlich bei Verwendung von Spannungen von mehreren Hundert Volt, längere Zeit mit den Registrierungen gewartet und die stündliche Umladung, wie bereits oben erwähnt, überhaupt aufgegeben wurde.

Bei einer Weiterführung der Registrierungen sollen zwei völlig getrennte Apparate mit zwei Elektrometern und je einer Platte aufgestellt werden, von denen der eine dauernd die + Ionen, der andere die — Ionen registriert. Hierbei fallen dann auch bei hohen Spannungen diese Schwierigkeiten bei der Umladung natürlich fort, und außerdem werden die Zerstreuungen für beide Vorzeichen gleichzeitig bestimmt, während jetzt nur Mittelwerte der Reihen bei + Ladung der Platten solchen bei — Ladung gegenüber gestellt werden können, wenn beide Platten gleichnamig geladen waren, und nicht die oben S. 9 erwähnte Differenzschaltung angewendet wurde.

3. Aichung der Messanordnung.

Wie in dem Abschnitt über das Prinzip der angewandten Methode S. 8 bereits kurz angedeutet worden ist, hat sich die Auswertung der Apparatkonstanten nach zwei Richtungen hin zu erstrecken. Um die erhaltenen Registrierwerte auf absolutes elektrostatisches Maß reduzieren zu können, müssen bestimmt werden:

a) die Voltempfindlichkeit für jeden Millimeter Ausschlag des Lichtzeigers auf dem photographischen Papiere der Registrierwalze;

b) die Kapazitäten der beiden Systeme mit und ohne Platten.

a) Die Empfindlichkeitsbestimmungen.

Wie oben S. 14 bereits angegeben wurde, sind die meisten Registrierungen bei „Doppelschaltung" angestellt worden; zunächst wurden Nadel und beide Quadrantenpaare auf gleich hohes Potential V geladen, dann wurde das eine Paar mit der einen Platte von der Ladebatterie abgeschaltet, während die Nadel und das andere Paar mit der Spannungsquelle dauernd in Verbindung blieben. Durch die luftelektrische Zerstreuung erniedrigte sich die Spannung auf dem losgelösten Paare, etwa um v Volt; gemessen wird die Spannungsdifferenz v zwischen den beiden Quadrantenpaaren. Das Schema der Schaltung wird also durch Fig. 4 Tafel II erläutert. Um für diesen Fall die Abhängigkeit des Ausschlages sowohl von dem Spannungsrückgange v wie von der angewendeten Ausgangsspannung V zu ermitteln, gehen wir auf die allgemeine Theorie des Quadrantenelektrometers zurück[1]).

Bezeichnen A und B die Spannungen auf den Quadranten, C diejenige der Nadel, so ist der dem Drehmoment D der elektrischen Kräfte proportionale Nadelausschlag α:

$$\alpha = \varkappa (A - B) \, [C - \beta (A + B)] \; . \; . \; . \; . \qquad (1)$$

wo $\varkappa$ und β Apparatkonstanten sind. Bei uns ist $B = C = V$, $B - A = v$

$$\text{also } A = V - v \text{ und } \alpha = -\varkappa v [V - \beta (2 V - v)],$$

[1]) Vgl. J. Cl. Maxwell, Elektrizität und Magnetismus, deutsch von Weinstein § 219 S. 350, 1883 und W. Hallwachs, Wied. Ann. 29, S. 1, 1886.

oder, wenn man $-\varkappa(1-2\beta)=\delta$, $-\varkappa\beta=\gamma$ setzt:

$$a=\gamma\cdot v^2+\delta\cdot v\cdot V\;.\;.\;.\;. \qquad (2)$$

wo γ und δ wiederum Apparatkonstanten sind. Man sieht, daß der Ausschlag natürlich von v, aber auch von V abhängt. Die Abhängigkeit von v bei gegebenem V ist keine einfache, sondern eine parabolische, der Ausschlag wächst schneller als die sich ausbildende Spannungsdifferenz v.

Die Abhängigkeit des Ausschlages von V bei demselben v ist einfacher, sie ist eine lineare; aber bei $V=0$ wird der Ausschlag nicht 0, sondern es verbleibt ein Ausschlag von entgegengesetztem Vorzeichen, als er bei höheren Spannungen erhalten wird. Aus einer Reihe von zusammengehörigen Werten von V, v und a kann man die Apparatkonstanten γ und δ mit genügender Genauigkeit berechnen. Bequemer noch ist eine graphische Interpolation.

Bei der Aichung selbst wurde in der folgenden Weise verfahren (vgl. das Schaltschema Fig. 5 Tafel II): Der die Kippwippe H_1RH_2 der Ladevorrichtung (vgl. S. 2) bedienende Uhrstrom wurde abgestellt und die Wippe mit einem Hilfsgewichtchen so belastet, daß die Platinstifte dauernd in die Quecksilbernäpfchen n eintauchten. Der Lichtzeiger begibt sich dann in die gleicher Ladung der beiden Platten P_1 und P_2 entsprechende Stellung zurück. Diese „Nullstellung" ist so gewählt, daß beim Anlegen oder Fortnehmen der Batteriespannung (und Erden der Nadel und der Quadranten in letzterem Falle) die Nadel sich nicht mehr bewegt. Dies wurde bei völlig adjustierter Aufstellung des Elektrometers durch Drehen am Torsionskopfe erreicht. Hiernach wurde die Registriertrommel so eingestellt, daß die „Ruhelage" entweder unten in der Nähe der „Basislinie" des Registrierstreifens erschien oder ganz oben, je nachdem bei der betreffenden als „Zerstreuungskörper" benutzten Platte die Spur des Lichtzeigers bei wirksamer Zerstreuung nach oben oder nach unten gehen würde.

In Fig. 5 stellt B die Ladebatterie (bis 240 Volt), C den Commutator dar, der einen Batteriepol an Erde, den anderen durch das Schutznetz N und die beiden Sicherungen Si hindurch an die beiden Platten und die Quadrantennadel legt. Vor der „Arbeitsplatte", d. h. derjenigen, welche zu den Zerstreuungsregistrierungen benutzt und in Bezug auf welche die Aichung vollzogen werden soll, in unserem Falle also vor P_1, liegt der aus Paraffin gefertigte Umschalter U, welcher beim Umlegen dem Ladestrom zwei Wege anweist: entweder durch den Hartgummiträger H_1 hindurch direkt zur Platte P_1, oder durch eine kleine auf Paraffin stehende und dadurch wohlisolierte kleine Hilfsakkumulatorenbatterie b hindurch, welche gegen die ankommende Spannung geschaltet ist. Dadurch, daß man die in Fig. 5 gestrichelte Zuleitung an verschiedenen Punkten von b anschließt, kann man also die Spannung auf P_1 (A) um verschiedene Stufen von je zwei Volt gegen diejenige von P_2, welche immer unverändert V Volt (B) bleibt, erniedrigen; wird der Umschalter U nach rechts hin gelegt, so kehrt man auch auf P_1 zur Ausgangsspannung V ($v=0$) zurück, wodurch zugleich die Nulllage kontrolliert wird. Von dieser kommt man sofort zur abgelenkten Lage, wenn man U nach links umlegt, ohne daß irgend sonst sich etwas ändert.

In dieser Weise sind zu den verschiedensten Zeiten und für die verschiedenen angewendeten Nadelsysteme und Spannungen die Aichkurven ermittelt worden und zwar für

beide Seiten der Anordnung, also für P_1 wie für P_2 als „Arbeitsplatte“, da von vornherein nicht erwartet werden konnte, daß die Empfindlichkeit für beide Fälle völlig die gleiche sein würde, was sie in der Tat, dank der völligen Symmetrie der beiden Teile, tatsächlich sehr genau war. Dabei sind die Empfindlichkeitsbestimmungen zum Teil direkt photographisch registriert (vgl. Fig. 6). Man erhält dabei gemäß den verschiedenen v-Werten eine Reihe von weniger oder mehr abgelenkten Punkten auf dem Registrierstreifen, zwischen denen immer je ein die Ruhelage markierender Punkt liegt. Die Entfernung eines v-Punktes von dem Mittelwerte der aufeinanderfolgenden, diesen v-Wert einschließenden Ruhelagepunkte wurde mittels eines sehr fein von Fueß in Steglitz auf Spiegelglas geteilten Millimetermaßstabes ausgemessen und das Resultat mit den Ablenkungen α als Abszisse, mit den zugehörigen Spannungsunterschieden v auf P_1 und P_2 als Ordinaten in Koordinatenpapier eingetragen.

Als Beispiel einer solchen Durchaichung möge in Fig. 7 Taf. III eine Kurve mitgeteilt werden, die sich auf die linke Platte P_1 als Arbeitsplatte und auf eine gemeinsame Ausgangsspannung von $\pm$ 60 Volt bezieht. (In der Figur liegen mehrere Einzelaichkurven, die am 3. VI. 08, 17. VII. 08 und 20. VII. 08 erhalten wurden, übereinander; sie stimmen aber so gut untereinander überein, daß sie bei dem gewählten Maßstabe der Figur sich gegenseitig decken.) Man sieht, daß man keine gerade Linie erhält, sondern einen parabelähnlichen Bogen, aber offenbar nicht einen vom Nullpunkt als Scheitelpunkt ausgehenden, sondern einen gegen den Nullpunkt verschobenen Parabolbogen, ganz der Formel (2) S. 17 entsprechend.

Aus 10 der Kurve entnommenen Wertpaaren wurden nach der Methode der kleinsten Quadrate die wahrscheinlichsten Werte der Apparatkonstanten für den vorliegenden Fall zu:

$$\gamma = 0{,}147 \qquad \delta = 0{,}0840$$

berechnet (α in mm, v und $V = 60$ in Volt); hieraus berechnet sich:

$$\beta = 0{,}389 \qquad -\varkappa = 0{,}3780.$$

Man sieht, daß man im vorliegenden Falle β nicht gleich $^1/_2$ setzen darf, wie es sonst wohl geschieht, wodurch sich dann die Formeln (1) und (2) vereinfachen, da ja dann $\delta = 0$ ist.[1]) Gewöhnlich wird stillschweigend angenommen, daß $\beta = {^1/_2}$ gesetzt werden darf[2]), wodurch dann allerdings Unabhängigkeit des Ausschlages von der Höhe der Ausgangsspannung V gewährleistet ist. Daß dies bei uns nicht der Fall war, möge durch das Beispiel der Kurve Fig. 8 Tafel III erläutert werden, welche zugleich die lineare Abhängigkeit des Ausschlages α vom Spannungsniveau V bei demselben v gemäß der Formel (2) deutlich erkennen läßt. Die Kurve 8 bezieht sich auf eine andere Suspension der Nadel mit dickerem Wollastonfaden (10 μ) und anderem Dämpfungskörper als Kurve 7, ist also mit dieser nicht direkt vergleichbar. Als Abszissen sind hier die Aus-

---

[1]) Vgl. W. Hallwachs, a. a. O. S. 3.

[2]) Auch in dem klassischen Lehrbuche der praktischen Physik von Friedr. Kohlrausch wird die „allgemeine Formel“ für das Quadrantenelektrometer (10. Aufl., S. 553, 1905) Formel (1) sogleich mit $\beta = \frac{1}{2}$ angesetzt, woraus dann für unsere Schaltung (bei Vernachlässigung der Kontaktpotentiale π_1 und π_2), wo $Q_2 = N$ ist, $\alpha = -\frac{1}{2}\mathfrak{S}\,(Q_1 - Q_2)\,(Q_1 - Q_2)$ oder $\alpha = k\,v^2$, also die Unabhängigkeit von der Ausgangsspannung V folgen würde.

gangsspannungen V gewählt, als Ordinaten die Ausschläge, welche bei einer um $v = 2$ Volt niedrigeren Spannung der „Arbeitsplatte" eintraten. Man sieht, daß bis zu Ladespannungen von 800 Volt hinauf eine Abweichung von der Geraden noch nicht bemerkbar wird. Man sieht ferner, daß die Gerade die Ordinatenachse auf der positiven Seite schneidet, daß bei $V = 0$ und demnach $v = -2$ Volt ein Ausschlag von $+5{,}6$ mm entsteht. Mittels der Kurve wurden für diesen Fall für die Apparatkonstanten die Werte erhalten:

$$\gamma = 1{,}375 \qquad \delta = 0{,}120$$
$$\beta = 0{,}497_5 \qquad \varkappa = -2{,}762.$$

Man sieht, wie verschieden bei verschiedenen Nadelsystemen die Konstanten desselben Quadrantenelektrometers auch bei dieser Schaltung ausfallen können, wie notwendig es also ist, dieselben jedesmal besonders zu bestimmen und nicht durch die Annahme von $\beta = 0{,}5$, die für einzelne Nadelformen vollkommen berechtigt ist, wie z. B. in dem von W. Hallwachs angeführten Fall, von vornherein Unstimmigkeiten in die Aichung einzuführen. So wurden auch bei uns für jeden der einzelnen Spannungsbereiche, innerhalb deren gearbeitet wurde, besondere Aichkurven aufgenommen. Bei den hier angewendeten, ziemlich hohen Spannungsdifferenzen (gegen Erde) konnte man, wie es sich zeigte, die kleinen Kontaktpotentialdifferenzen zwischen den Materialien von Quadranten und Nadel gegeneinander und diejenigen zwischen den Quadranten selbst vernachlässigen und daher für V und $(V - v)$ die mittels Voltmeter gemessenen Spannungen der Batterien direkt selbst einsetzen.

Nach der Aichung wird die Hilfsbatterie b (Fig. 5 Tafel II) sowie der Umschalter U wieder weggenommen und die gleiche Anfangsladung V beiden Platten gewöhnlich dadurch erteilt, daß zwischen den von H_1 und H_2 getragenen Ladestäben ein dünner Draht ausgespannt war. Ferner tauchte eine Abzweigung der die Batteriespannung herbeiführenden Drahtleitung dauernd in das Quecksilbernäpfchen derjenigen Platte, welche nicht entladen werden sollte. Beim Zurückkippen der Wippe wurde dann nur die Arbeitsplatte mit der ihr erteilten Ladung beim Registrieren allstündlich abgetrennt.

b) Die Kapazitätsbestimmung.

Nachdem durch die Bestimmungen a) die Beziehung zwischen Ausschlag und Spannungserniedrigung auf einem Quadrantenpaare für die beiden Seiten der Anordnung festgestellt war, konnte dazu übergegangen werden, das System auf „Elektrizitätsmengen" zu aichen, wozu die Bestimmung der Kapazität nötig war. Vier derartige Bestimmungen waren augenscheinlich gesondert durchzuführen, für jede Seite zwei, je eine mit und eine ohne angehängter Platte. Die Bestimmungen erfolgten wie üblich durch „Ladeteilung" mit einer bekannten Kapazität. Hierzu hätte sich sehr empfohlen der von Harms[1]) in die Meßtechnik eingeführte, äußerst zweckmäßige, vor Influenzwirkungen vorzüglich geschützte Zylinderkondensator, für den in unserem Laboratorium nicht nur die Bindungszahl, sondern auch die (davon bekanntlich abweichende) Eigenkapazität des Innenzylinders bei geerdeten mittleren und äußeren Zylindern sehr genau bestimmt worden war. Leider erwies sich die Kapazität des Harmsschen Kondensators für unsere Zwecke zu groß, da ja die Registrier-

[1]) F. Harms, Physikal. Zeitschrift 5, 47, 1904.

anordnung nur eine verhältnismäßig kleine, bei der Ladeteilung herbeigeführte Spannungserniedrigung zuließ. Es wurde daher ein besonderer Zylinderkondensator von kleiner Kapazität (Fig. 9 Tafel II) hergestellt, der mit dem Harmsschen Kondensator den Vorteil teilte, ein gegen äußere Störungen völlig geschütztes Innenfeld zu besitzen: Ein 13,8 cm langer, 0,2 cm dicker, völlig gerader Messingdraht M ist in einem Hartgummistopfen H befestigt, der sich beiderseitig verjüngt und zur Verlängerung des Isolationsweges mit Riefen versehen ist. Mit seinem dicksten, mittleren Teile ist er in ein weiteres am Ende geschlossenes Schutzrohr SS von 15,7 cm innerer Länge und 2,0 cm innerer Weite genau eingepaßt, in dem er außerdem durch drei durch die Rohrwand hindurchgehende Schräubchen s festgehalten wird. In das äußere Ende von M ist zentrisch ein dünner Draht D von 5,8 cm Länge und 0,06 cm Dicke eingelötet, dessen gut amalgamiertes Ende rechtwinklig umgebogen ist. Alle Metallteile sind sorgfältig vernickelt. Am Ende von SS ist die Erdleitung E angelötet.

Die gefährdete Isolationsstelle findet sich augenscheinlich an der Außenfläche von H. Damit sich hier nicht während des Nichtgebrauches Staub oder Feuchtigkeit ansetzen kann, wird der Zylinderkondensator unmittelbar nach jeder Messung mit seinem unteren offenen Ende auf eine kurze, breit ausladende Glasflasche G gesteckt, in deren Hals ein Messingring RR eingekittet ist; in diesen paßt SS genau hinein. Die Flasche enthält Stückchen metallischen Natriums Na. Die Schräubchen s setzen sich auf RR auf und verhindern, daß der Kondensator zu tief eingesteckt und etwa dadurch der Verlängerungsdraht D verbogen wird. Auf diese Weise ist der Kondensator zugleich geschlossen, geschützt und zweckmäßig aufgestellt.

Beim Arbeiten mit sehr kleinen Kapazitäten muß man bei der Ladeteilung die Änderung in der Konfiguration der umgebenden Leiter natürlich sorgfältig vermeiden. Ein Annähern und Entfernen des kleinen Kondensators an oder von der zu aichenden Plattenanordnung hätte bereits Störungen herbeiführen können, namentlich auch das Herannahen des Beobachters an die von ihren Schutznetzen bei der Aichung zum Teil wenigstens zu entblößenden Leiterteile. Um daher die Leiteranordnung möglichst wenig zu verändern und den Apparat in der Form zu aichen, in der er benutzt werden sollte, wurde zwischen ihn und die Hilfskapazität eine in einem Metallkästchen vollkommen eingeschlossene Wippenanordnung eingeschaltet, welche von der Ferne her mittels eines Schnurlaufes die An- und Abschaltung des Kondensators bewerkstelligen ließ. Fig. 10 Tafel II zeigt die Umschaltvorrichtung im Schnitt von der Längsseite her gesehen, Fig. 11 dieselbe von der Breitseite her in Verbindung mit dem Hilfskondensator und Fig. 12 gibt die Gesamtanordnung von oben gesehen.

Auf der 6×8 cm^2 haltenden Bodenfläche des 5,5 cm hohen, mit einem übergreifenden Deckel versehenen Weißblechkästchens sind auf vier gerieften Hartgummisäulchen ebensoviele eiserne Quecksilbernäpfchen N_1 bis N_4 befestigt, deren Rand bis etwas unterhalb der horizontalen Achsen von vier entsprechenden, durch Deckel verschließbaren Seitenöffnungen O_1 bis O_4 des Kästchens emporragt. In diese Näpfchen ist eine Wippe W aus dickem an den Enden amlgamierten Kupferdrahte eingesetzt. Um diese umlegen zu können, ohne sie zu entladen, trägt sie oben einen gleichfalls gerieften Hartgummiisolator, in den von oben her ein Führungsstift eingelassen ist, welcher über den Deckel hinausgreift. Er geht (vgl. Fig. 10) durch eine Öffnung in einem mit den beiden Ringen R_1 R_2 versehenen

dicken Messingblechstreifen, welcher in einer Führung bis zu den Anschlägen A_1 A_2 hin- und hergleiten kann: der Kastendeckel enthält einen entsprechenden schlitzförmigen Ausschnitt. An die Ringe R_1 R_2 ist der durch die Ösen O_1 O_2 gezogene Faden FF angeknüpft, der bis zum Beobachter hinführt. Durch Anziehen des einen oder anderen Fadenendes kann die Wippe umgelegt werden. Dabei ist das Kästchen bis auf ganz geringfügige Öffnungen geschlossen; störende elektrostatische Beeinflussungen sind demnach ferngehalten, ebenso nach Möglichkeit das Eindringen von Staub und Feuchtigkeit. Zur Fernhaltung der letzteren von den Isolatoren sind in zwei entsprechenden Ecken des Kästchens (vgl. Fig. 12) Gläschen GG mit Natriumstücken angebracht.

Das Umschaltkästchen ist auf einem Doppelbrette montiert, das auch die beiden Lager L_1 L_2 (Fig. 11 und 12) für den Zylinderkondensator sowie die Erdungsklemme K (Fig. 10) trägt, an welche das Kästchen, ein Näpfchen und der Außenzylinder des Kondensators dauernd angeschlossen sind. Je nachdem die eine oder andere Hälfte der Plattenanordnung geaicht werden soll, wird das diese Lager tragende Brettchen auf der einen oder anderen Seite auf das gemeinsame Grundbrett aufgeschraubt und der Zuleitungsdraht D (Fig. 12) zum Teilungskondensator in Näpfchen N_3 oder N_4 eingesenkt. Der zu aichende Apparat wird an N_1 durch einen dünnen Verbindungsdraht angeschlossen, welcher also in unserem Falle in eines der Quecksilbernäpfchen n_1 oder n_2 (Fig. 3) hinüberführt. Zunächst steht die Wippe so, daß das Wippenende in N_1 eintaucht. Man hat dann ein System, welches aus dem zu aichenden Apparate, dem Verbindungsdrahte, dem Näpfchen N_1, der Wippe W und dem Hilfskondensator besteht. Dieses wird auf dasselbe Potential geladen, auf welches auch der Nachbarapparat geladen wird. Nun legt man die Wippe um. Dadurch findet zunächst eine Trennung der geladenen Leiterteile zwischen N_1 und der Wippe W statt; unmittelbar danach wird die auf W und der Hilfskapazität vorhandene Elektrizitätsmenge durch K hindurch zur Erde hin abgeleitet, weil das Wippenende jetzt in N_2 eintaucht. Sodann wird die Wippe in die erste Stellung zurückgeführt, wodurch das ursprüngliche System genau in gleicher Weise wieder zusammengefügt ist; die auf dem geladen gebliebenen System vorhandene Elektrizitätsmenge verteilt sich jetzt wieder über dieselben Leiter, welche auch dieselbe Konfiguration den geerdeten Leiterteilen ringsum gegenüber einnehmen wie vorher.

Um hieraus die Kapazität des angeschlossenen Apparates selbst zu bestimmen, muß muß man offenbar noch kennen:

1. die Kapazität des aus Verbindungsdraht und Näpfchen N_1 bestehenden Teilsystems, welches ja mit dem Apparat selbst verbunden bleibt;

2. die Kapazität der Wippe, wenn ihre beiden Beine, wie immer, in die beiden Näpfchen N_2 N_4 eintauchen, die Verbindung bei N_1 aber bereits gelöst, diejenige bei N_2 aber noch nicht hergestellt ist; daß durch die Entfernung des Wippenendes von N_1 die Kapazität etwas geändert wird, hat einen so geringen Einfluß (bei dem Hub von wenigen Millimetern), daß dieser Einfluß außer Betracht bleiben kann;

3. die Eigenkapazität des Kondensators.

Alle diese Einzelkapazitäten sind wiederholt besonders bestimmt worden, zuletzt von Herrn Diplomingenieur Fritz Hauser. Der Kondensator wurde dabei mit einem Normal-Plattenkondensator verglichen, der aus zwei sorgfältig eben abgedrehten 0,3738 cm dicken,

kreisrunden Messingplatten von 14,86 cm Durchmesser bestand, die in horizontaler Lage von drei Bernsteinstützen (Höhe: 0,1731 cm, größter Durchmesser [an den Enden]: 0,33 cm, kleinster [in der Mitte]: 0,20 cm; also mittlerer Durchmesser: 0,265 cm) auseinandergehalten wurden. Die Kapazität desselben berechnet sich nach der Formel von G. Kirchhoff (mit Randkorrektion) zu 81,74 cm.

Mehrfache Vergleiche sowohl mit dieser Normalkapazität sowie mit einem Harmsschen Kondensator und der anderweitig bekannten Eigenkapazität des zu den Vergleichungen benutzten Elektrometers ergaben für den Zylinderkondensator allein $c' = 5{,}24$ cm Kapazität, für die Umschaltevorrichtung mit zweien ihrer Quecksilbernäpfchen $(N_3 N_4)$ $c'' = 5{,}09$ cm, und für ein Näpfchen (N_1) allein mit dem dünnen Verbindungsdrahte $c''' = 2{,}42$ cm. Hiernach war die an den auf Kapazität zu aichenden Apparat angehängte Hilfskapazität jederzeit mit hinreichender Genauigkeit berechenbar. Die gesamte Zusatzkapazität war so klein, daß eine mehrmalige Ladeteilung erfolgen konnte, wodurch die Genauigkeit des Verfahrens natürlich nicht unerheblich gesteigert wird. Hierhei kann man die durch eine Ladeteilung und Erdung des abgetrennten Teiles verminderte Spannung sogleich wieder als Ausgangsspannung für die nächste Ladeteilung verwenden.

Bei der Berechnung kann man in zweierlei Weise verfahren:

Bezeichne C die zu messende Kapazität des geladenen Systems. Dieselbe wird zunächst vermehrt um die Kapazität des dünnen Zuleitungsdrahtes zum Anschlußnäpfchen N_1 plus dessen eigener Kapazität, zusammen um $c''' = 2{,}42$ cm. An diese Kapazität schließt sich die der Wippe (Bügel mit beiden Mittelnäpfchen N_3 und N_4) $c'' = 5{,}09$ cm sowie die des angefügten Hilfskondensators $c' = 5{,}24$ cm an.

Es sei $c = c' + c''$. Das ganze System $C + c''' + c$ werde auf die Anfangsspannung V_0 mittels der Kippwippe in der gewöhnlichen Weise geladen; dann ist auf ihm die Elektrizitätsmenge $(C + c''' + c)\, V_0$ vorhanden. Beim Umlegen der Wippe wird von dieser die Elektrizitätsmenge $c\, V_0$ zunächst losgetrennt und dann zur Erde abgeleitet. Beim Zurücklegen der Wippe verbreitet sich die auf dem System $C + c'''$ verbliebene Elektrizitätsmenge auf das ganze nun wieder vereinigte System $(C + c''' + c)$; hierdurch gehe die Spannung auf den Wert V_1 zurück, $V_1 < V_0$. Man hat dann nach der ersten Ladeteilung:

$$1. \qquad (C + c''' + c) \cdot V_0 - c \cdot V_0 = (C + c''') \cdot V_1 + c \cdot V_1.$$

Ist die Isolation gut und die Zerstreuung gering, so wird man den der Spannung V_1 entsprechenden Lichtpunkt markieren und ebenso bei den weiteren Ladeteilungen verfahren, wodurch die den folgenden Gleichungen entsprechenden Potentialwerte erhalten und markiert werden:

$$\begin{array}{ll} 1. & (C + c''') \cdot V_0 = (C + c''') \cdot V_1 + c \cdot V_1 \\ 2. & (C + c''') \cdot V_1 = (C + c''') \cdot V_2 + c \cdot V_2 \\ 3. & (C + c''') \cdot V_2 = (C + c''') \cdot V_3 + c \cdot V_3 \\ \ldots & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ n. & (C + c''') \cdot V_{n-1} = (C + c''') \cdot V_n + c \cdot V_n \end{array}$$

Addiert man diese Gleichungen, so heben sich gleiche Glieder paarweise heraus und man erhält:

$$(C + c''') \cdot V_0 = (C + c''') \cdot V_n + c \cdot \sum_{i=1}^{i=n} V_i$$

oder

$$C + c''' = \frac{c \cdot \sum_{i=1}^{i=n} V_i}{V_0 - V_n} \quad \ldots . \qquad (3)$$

Dadurch, daß man mehrere Einzelpotentiale registriert und Anfangs- und Endpotential so weit auseinanderliegen, als es die Breite des Registrierstreifens nur eben zuläßt, wird die Genauigkeit wesentlich erhöht.

Sind die Verluste während der Aufnahme einer solchen Kapazitätsvergleichung aber zu groß, so verzichtet man auf Registrierung und beobachtet die einzelnen den Spannungen V_0, V_1 u. s. w. entsprechenden Stellungen des Lichtzeigers mit dem Auge an der an der Vorderseite des Registrierkastens befindlichen Millimeterskala, oder man benutzt die den einzelnen jetzt rasch hintereinander vollzogenen Ladeteilungen entsprechenden Gleichungen in der folgenden Weise:

$$\begin{array}{ll}
1. & (C + c''') \cdot V_0 = (C + c''' + c) \cdot V_1 \\
2. & (C + c''') \cdot V_1 = (C + c''' + c) \cdot V_2 \\
3. & (C + c''') \cdot V_2 = (C + c''' + c) \cdot V_3 \\
\ldots & \ldots \\
n. & (C + c''') \cdot V_{n-1} = (C + c''' + c) \cdot V_n
\end{array}$$

Multipliziert man jetzt alle Gleichungen miteinander, so heben sich die einzelnen Zwischenspannungswerte heraus, man braucht sie also nicht zu kennen und es verbleiben nur Anfangs- und Endspannung und man erhält:

$$(C + c''')^n \cdot V_0 = (C + c''' + c)^n \cdot V_n$$

Setzt man

$$\sqrt[n]{\frac{V_n}{V_0}} = t,$$

so erhält man

$$C + c''' = c \cdot \frac{t}{1 - t} \quad \ldots . \qquad (4)$$

Von dem durch (3) oder (4) erhaltenen Werte ist schließlich noch c''' abzuziehen.

Noch eines ist bei diesen Verfahren der mehrfachen Ladeteilung zu beachten: Da die geladene Elektrometernadel auf die Quadranten influenzierend einwirkt, so werden bei ihrer Schwingung die auf dem geladenen System befindlichen Elektrizitätsmengen immer etwas anders verteilt. Will man also nicht jedesmal vor einer neuen Ladeteilung warten, bis sich die Nadel wieder beruhigt hat, so muß man die Lostrennung der Zusatzkapazität auf Momente verlegen, die den durch einen Vorversuch ermittelten Einstellungspunkten nahe liegen; bei geringen Ausschlägen kann man auch die Momente wählen, in denen der Lichtzeiger die Nulllage passiert. Diese Vorsichtsmaßregel darf hier nicht vernachlässigt werden, wo die Eigenkapazität des Meßinstrumentes einen so wesentlichen Betrag der Gesamtkapazität ausmacht.

Von den verschiedenen Kapazitätsbestimmungen seien nur die folgenden mitgeteilt: Am 17. Juli 1908 wurden erhalten für die linke Seite der Anordnung bei verschiedenen Versuchen:

a) mit Platten:			b) ohne Platten:	
	72,4 cm	— 0,2	41,5 cm	— 0,2
	73,5 „	— 1,3	41,4 „	— 0,1
	70,6 „	+ 1,4	41,0 „	+ 0,3
	72,2 cm		41,3 cm	

Am 20. Juli 1908 wurde die rechte Seite der Anordnung auf Kapazität geprüft; es wurde erhalten

a) mit Platte:			b) Ohne Platte:	
	73,7 cm	— 1,6	40,8 cm	+ 0,5
	72,4 „	— 0,3	41,4 „	— 0,1
	72,5 „	— 0,4	41,8 „	— 0,5
	70,6 „	+ 1,5	41,3 cm	
	71,8 „	+ 0,3		
	71,4 „	+ 0,7		
	72,1 cm			

Hieraus geht zugleich hervor, daß es wirklich gelungen war, beide Apparatanordnungen fast identisch herzustellen.

Am 30. November 1908 sind Kapazitätsbestimmungen ausgeführt worden, bei denen einmal der Boden durch eine Metallplatte abgedeckt war, zweitens in derselben Weise wie im Juli 1908.

Die beiden Bestimmungen weichen nur um 0,78 % voneinander ab, woraus hervorgeht, daß durch hinzufügen der Metallplatte keine wesentliche Kapazitätsänderung verursacht wird.

Die Art, wie diese Kapazitätswerte erhalten worden sind, zeigt, daß sie mit den aus den Empfindlichkeitskurven zu entnehmenden, in elektrostatische Einheiten umgerechneten Werten multipliziert, direkt die Elektrizitätsmengen ergeben, welche dem nur kurze Zeit in Verbindung mit der Batterie verbliebenen System entzogen sind, um den Lichtzeiger um den betreffenden Betrag wandern zu lassen.

c) Ausmessung des Kraftfeldes zwischen den geladenen Platten und ihrer geerdeten Umgebung.

Zur Beurteilung der sich zwischen der Platte und ihrer geerdeten Umgebung infolge der Plattenladung ausbildenden elektrischen Strömung ist es von Wichtigkeit, die Verteilung von Niveauflächen und Kraftlinien in dem Zwischenraume festzustellen. Dieselbe ist natürlich verschieden, je nach der auf den Platten befindlichen Elektrizitätsmenge; bei höheren Spannungen drängen sich die Stromröhren mehr zusammen als bei niedrigeren. Indessen werden die einzelnen Bilder doch einander ähnlich sein, so daß es genügte, sich in dem Felde zu orientieren für diejenige Spannung, welche bei den meisten Registrierungen als Ausgangsspannung gedient hatte: 60 Volt.

Die Ausmessung unseres Kraftfeldes hat Herr Cand. math. et phys. Karl Hoffmann durchgeführt. Zu diesem Zwecke wurde ein flacher Metallkasten von 30×40 cm² Grundfläche und 10 cm Höhe, also von den gleichen Dimensionen wie unsere Gruben, angefertigt,

welcher mit demselben Deckel mit dem Drahtnetzschutzzylinder abgedeckt wurde wie eine der Gruben. Innerhalb dieser Metallumhüllung wurde eine der beiden Platten in genau derselben Höhe und Lage befestigt wie bei den Versuchen, und dieselbe mit einer Akkumulatorenbatterie verbunden. Eine der Längswände des Kastens bestand aus zwei längeren Blechstreifen, die so gegeneinander gestellt wurden, daß zwischen ihnen ein schmaler vertikaler Spalt offen blieb, der an die verschiedensten Stellen des Kastens gerückt werden konnte. Durch diesen Spalt wurde nun das horizontale, vorn mit einer sehr feinen Öffnung versehene Röhrchen eines kleinen Wasserspritzkollektors eingeführt, der mit einem Lutz-Edelmannschen Saitenelektrometer[1]) (mit Temperaturkompensation) verbunden war. Auf diese Weise konnte das ganze Feld zwischen Platte und Umgebung abgetastet und in Diagrammen dargestellt werden; dabei glich dieses Feld demjenigen, welches bei den Versuchen verwendet wurde, vollkommen bis auf die kleinen nebensächlichen Störungen, welche durch das Tropfröhrchen selbst eingeführt wurden. Es zeigte sich u. a., daß das Feld unter der Platte vollkommen homogen war bis auf einen Randstreifen von ca. 2 cm Breite, so daß man nur einen geringen Fehler begeht, wenn man die vom Erdboden in die Platte übergehende elektrische Gesamtströmung durch den Flächenraum der Platte dividiert, um einen Mittelwert der pro cm^2 eintretenden Strommenge, der "Stromdichte" zu erhalten (vgl. w. u.).

4. Auswertung der Registrierkurven; die Isolationsbestimmungen.

In den Figuren 13 und 14 auf Tafel III sind einige Beispiele der erhaltenen Registrierkurven verkleinert reproduziert wiedergegeben (die Originalgröße eines jeden einzelnen Blattes ist 18×24 cm^2). Unten erblickt man die allstündlich unterbrochene Basislinie, deren geradliniger Verlauf die Gewähr dafür bietet, daß während der Registrierung keine Störung in der Aufstellung eingetreten ist. Da der Moment des Einlegens sowie des Abnehmens der Streifen und die fortlaufende Nummer auf jedem Blatte direkt notiert wurde, die Registrierwalze außerdem nach Auflegen und Festklemmen des Blattes immer so auf ihre Achse aufgesteckt wurde, daß die zusammenstoßenden Blattränder unmittelbar hinter dem horizontalen Spalte des Schutzkastens zu liegen kamen, so war die Stelle des Beginnes der Registrierung bekannt, und so konnten die einzelnen Tagesstunden genau identifiziert werden.

Nach jeder Stunde wird durch Schließen der Kontakte der Lichtzeiger zur Ruhelage zurückgeführt, welche einer gleichen Ladungshöhe von Arbeitsplatte und Kontrollplatte entspricht. Ein deutlicher Punkt markiert dieselbe, wiewohl der Stromschluß nur wenige Minuten währt. Auf den Originalen erkennt man deutlich das Überschwingen und die Markierung von drei Umkehrpunkten, aus denen man das Dämpfungsverhältnis für jeden einzelnen Fall sofort ableiten kann. Dasselbe betrug meist 3,96. In den Reproduktionen sind diese Umkehrpunkte weggelassen worden. Man sieht, daß diese Ruhelagen im Laufe des Tages ziemlichen Schwankungen unterworfen sind, so daß eine stündliche Kontrolle derselben nur willkommen sein konnte.

---

[1]) C. W. Lutz, Über ein Saitenelektrometer. Sitzungsber. der Münchener Akad. 37, 61, 1907.

Die von den Ruhepunkten ausgehenden, je nach der Schaltung nach oben oder nach unten hin sich erstreckenden Kurvenäste stellen nun mit Rücksicht auf die Empfindlichkeits- und Kapazitätswerte gewissermaßen Integrale über die während je einer Stunde neutralisierten Elektrizitätsmengen dar. Ihre Länge wurde mittels des bereits S. 18 erwähnten Glasmaßstabes ausgemessen, wobei als Ausgangspunkt ein zwischen den beiden die betreffende Stunde begrenzenden Nullpunkten in mittlerer Ordinatenhöhe gelegener Punkt gewählt wurde.

Die so erhaltenen Längen wurden mittels der betreffenden Empfindlichkeitskurve auf Spannungseinheiten und vermöge der bekannten Kapazitätswerte auf elektrostatische Mengeneinheiten umgerechnet.

Die so erhaltenen während einer Stunde neutralisierten Elektrizitätsmengen bestehen aus den an den Platten selbst „zerstreuten" und den über die Stützen und zwischen den Zuleitungen und ihren geerdeten Schutzröhren übergegangenen Mengen. Die letzteren muß man gesondert bestimmen. Dies geschah meist auf demselben Registrierstreifen, der schon eine Tageskurve der Zerstreuung trug, wie es z. B. Fig. 14 zeigt, indem einfach auf denselben Streifen noch einen Tag ohne Platte exponiert wurde. Die so erhaltenen im allgemeinen, wenn keine Störungen vorlagen, immer weit kürzeren Kurvenäste wurden in der gleichen Weise ausgemessen und mittels der geänderten, für die Anordnung ohne Platten geltenden Kapazitätswerte reduziert.

Derartige „Isolationsprüfungen" wurden an einer großen Reihe von Tagen vorgenommen, die sich über die verschiedensten Wetterlagen und Jahreszeiten verteilen. Die gefundenen Werte wurden zu Stunden- und Tagesmitteln vereinigt. Es zeigt sich kein Gang von solcher Regelmäßigkeit, daß man eine besondere Tageskurve konstruieren könnte. Bildet man die Abweichungen der einzelnen Stunden- und Tagesmittel gegenüber dem Gesamtmittel, so kommt man zu gleichgroßen Abweichungen im Laufe des einzelnen Tages wie im Verlaufe der gesamten Beobachtungsdauer.

Als Gesamtstundenmittel ergibt sich 0,385 E. S. E. Die größte Abweichung der Tagesmittel (Mittel aus der größten positiven und der größten negativen Abweichung) findet man zu 0,118 E. S. E. Die größte Abweichung der Stundenmittel vom Gesamtmittel ist 0,130 E. S. E. Diese Werte repräsentieren also die maximalen Schwankungen in der Isolationsfähigkeit des Systems. Vergleicht man sie mit den bei den Versuchen mit Platten erhaltenen Mittelwerten, so betragen sie ca. 5—6 % dieser Stundenmittel. Die zu messenden Zerstreuungswerte erfahren also selbst durch die Maximalschwankungen des Systems ohne Platten nur eine Änderung von 5—6 %.

Wir sehen also, daß wir eine mittlere Korrektion bei allen Stundenwerten in Anrechnung bringen können. Diese mittlere Korrektion ist gleich 0,385 E. S. E., dem Mittelwert aus den bei abgenommenen Platten registrierten Elektrizitätsverlusten überhaupt. Dieser Wert wurde also von allen Einzelstundenwerten abgezogen.

B. Beobachtungsergebnisse und Diskussion.

1. Zusammenstellung des Gesamtmateriales.

Da hier zum ersten Male fortlaufende Registrierungen der luftelektrischen Zerstreuung vorliegen, und da die einzelnen Werte unter genau definierten äußeren Bedingungen erhalten wurden und sich auf absolutes Maß reduzieren ließen, so daß sie mit anderen derartigen Bestimmungen direkt vergleichbar sind, so wurde beschlossen, das ganze Material, soweit es Zerstreuungsmessungen im oben definierten Sinn repräsentiert, in extenso mitzuteilen. Dasselbe ist in den großen Tabellen am Schlusse der Arbeit übersichtlich zusammengestellt.

Aus äußeren Gründen mußten die Registrierungen gelegentlich längere Unterbrechungen erfahren; außerdem waren eine größere Zahl von experimentellen Einzeluntersuchungen, die in den folgenden Kapiteln besprochen werden, in die eigentlichen Beobachtungsreihen einzuschieben. Die Beobachtungszeit zerfällt daher, wie die Tabellen zeigen, in zwei längere durch zusammenhängende Beobachtungen erfüllte Perioden: eine vom 23. April bis zum 17. August 1908 reichende Sommerperiode und eine zweite vom 16. Dezember 1908 bis zum 8. März 1909 reichende Winterperiode.

Die Tabellen selbst sind nun folgendermaßen angelegt: Innerhalb jeder Periode sind die Beobachtungen nach dem Vorzeichen der abzufangenden Ionenart getrennt aufgeführt: Abteilungen a) und b); innerhalb dieser Abteilungen ist dem Datum nach geordnet. Abteilung c) in jeder Periode gibt eine Zusammenfassung der Resultate. Für jeden Tag sind die in den einzelnen, in den Horizontalen vermerkten Stunden an den Platten im Ganzen neutralisierten Elektrizitätsmengen in C. G. S. Einheiten für das vorn stehende Vorzeichen der hierbei wirksam gewesenen Ionen angeführt (die Platte hatte dabei also eine Ladung vom entgegengesetzten Vorzeichen). Dabei ist bereits bei allen Werten der durch Isolationsmängel u. s. w. bedingte Verlust in Rechnung gebracht, so daß die Zahlen direkt die pro Stunde an den 20×30 cm^2 großen Platten neutralisierten Elektrizitätsmengen darstellen.

Am Schlusse jeder Horizontalreihe sind die Mittelwerte für jeden einzelnen Tag gebildet: „Tagesmittel". Am Fuße der Tabellen sind die Mittel für dieselben Stunden der einzelnen aufeinander folgenden Tage berechnet: „Stundenmittel". Die Werte sind in doppelter Weise zu „Stundenmitteln" zusammengestellt: Einmal unter Benutzung sämtlicher vorhandener Werte, dann unter Auswahl derjenigen Tage, an denen die Registrierung lückenlos war, an denen sich also von Mitternacht bis Mitternacht die Zerstreuungen ohne Unterbrechung aufgezeichnet hatten.

Unter c) sind endlich in beiden Registrierperioden die Stundenmittel für beide Vorzeichen zu den Größen $Q = E_+ - E_-$, der Differenz der beiden Ionenarten in E. S. E. pro Stunde, und zu $q = E_+/E_-$, dem Verhältnis der beiden Arten zusammengefaßt. Auch für die Haupttagesmittel sind diese Größen gebildet. Auch hier ist einmal für die aus sämtlichen registrierten Werten erhaltenen Stundenmittel Q und q gebildet worden, dann auch für die bei den lückenlosen Tagesregistrierungen erhaltenen Mittelwerte.

Hier muß bemerkt werden, daß eine entsprechende Tabelle für den gleichzeitig registrierten Luftdruck zusammengestellt wurde, indem für jede der in der Tabelle vorhandenen Stunden der entsprechende Luftdruckwert eingetragen wurde. Es wurden dann auch hier für die beiden Registrierperioden getrennt, für jedes der beiden Vorzeichen gesondert und wiederum getrennt für die Gesamtbeobachtungen einerseits, die lückenlosen Tage andererseits Tagesreihen zusammengestellt, die dann zu den Kurven in Fig. 23 u. 24 verarbeitet wurden. Die Einzelwerte hier anzuführen, hätte natürlich keinen Zweck.

Überblickt man die Endwerte der einzelnen Tabellen, so sieht man, daß die Sommerregistrierungen (erste Registrierperiode) sich um einen Zerstreuungswert von rund 2 el. stat. Einheiten pro Stunde gruppieren, die Winterregistrierungen (zweite Registrierperiode) um einen solchen von rund 3 Einheiten; eine genauere Mittelbildung, die Abweichungen vom Mittel u. s. w. sollen in § 5 mitgeteilt und diskutiert werden. Der Unterschied ist nicht durch die Jahreszeit bedingt, sondern dadurch, daß bei der zweiten Registrierperiode mit einem anderen Oberflächenmateriale gearbeitet wurde (vgl. weiter unten in § 4). Die Zahlen beider Tabellen sind also nicht unmittelbar mit einander vergleichbar. Durch zwischengeschaltete gelegentliche Registrierungen mit dem früher benutzten Bodenmateriale während der zweiten Registrierperiode haben wir uns aber davon überzeugt, daß im Winter unter gleichen äußeren Umständen im Mittel auch Zerstreuungswerte von derselben Größenordnung, in unserem Falle also von 2 el. stat. Einh. erhalten werden.

Des Folgenden wegen wird es von Wichtigkeit sein, das erhaltene Gesamtresultat schon hier in etwas anderer Form noch auszusprechen.

Ionenbildend können in unseren Bodeneinsenkungen im Ganzen drei Agentien wirken:

a) die von der Erdsubstanz ausgehende, sog. „durchdringende Strahlung; sie wird erst durch eine Bleischicht von 3 cm Dicke auf die Hälfte ihrer Wirksamkeit herabgedrückt. Im Durchschnitt fand man für sie in der Nähe der Erdoberfläche eine Intensität, die dadurch charakterisiert ist, daß sie rund 10 Ionen beiderlei Zeichens pro cm^3 und sec. zu bilden im Stande ist;

b) die aus dem Erdboden empordringenden Emanationen; die unter a) und b) genannten Agentien bilden überall und jederzeit ebenso viele + wie — Ionen;

c) endlich können auch bereits gebildete Ionen in die Bodenöffnungen eintreten; ihnen allein kann eine Unipolarität, wenn sie beobachtet wird, zugeschrieben werden.

Von den Agentien a) und b) kann man annehmen, daß sie in dem ganzen, die Zerstreuungsplatten umgebenden Raume von $30 \times 40 \times 10 = 12000\ cm^3$ Inhalt gleichmäßig zur Geltung gelangen; denn die durchdringende Strahlung wird durch die nur 0,1 cm dicken verzinkten Eisenplatten kaum merklich aufgehalten, die Emanationen zerfallen auf ihrem Wege um die Platten herum ihren Halbwertzeiten entsprechend und sind daher auch oberhalb der Platten, dort wo sie in die Atmosphäre übertreten, jedenfalls noch von genügender Wirksamkeit um auch hier noch Ionen zu erzeugen. Nur von den aus dem Boden direkt austretenden Ionen wird man annehmen müssen, daß sie sogleich dem elektrischen Felde um den Zerstreuungskörper herum verfallen. Dafür treten aber auch von oben her aus der Freiluft Ionen ein und es wird Aufgabe der folgenden §§ sein, zu zeigen, daß die von unten her eindringende Ionenmenge die größere ist. Immerhin wird man sehen, daß der Fehler nicht groß ist, den man begeht, wenn man annimmt, daß der ganze

die Platten umgebende Raum gleichmäßig ionisiert werde. Alsdann kann man aber ausrechnen, wie viele Ionen pro cm³ und sec. in den Bodenöffnungen gebildet werden bzw. pro Raum- und Zeiteinheit in diese eintreten. Mit Zugrundelegung der oben erwähnten Mittelwerte ergeben sich:

$$\frac{2 \cdot 10^{10}}{12.10^3 \times 3600 \times 4,6} = 100 \text{ bzw. } \frac{3 \cdot 10^{10}}{12.10^3 \times 3600 \times 4,6} = 150 \text{ Ionen pro cm}^3 \text{ und sec.}$$

Durch diese Zahl wird die Intensität der ionisierenden Agentien gemessen, falls in dem Ionisierungsraum „Sättigungsstrom“ herrscht (vgl. oben S. 5); ob dies der Fall war, mußte daher durch besondere Untersuchungen festgestellt werden.

2. Diskussion über die vorhandene Stromform.

Ehe aus dem in der im vorigen Abschnitte erläuterten großen Tabelle am Schlusse der Arbeit enthaltenen Zahlenmateriale Schlüsse gezogen werden sollen, mögen einige Vorfragen ihre Erledigung finden, vor allem diejenige über die bei der Gewinnung dieses Materiales bestehende Stromform, weil hiervon nach den Ausführungen S. 4 folgende die Bedeutung dieser Zahlen wesentlich abhängt.

Wann an einer derartigen Zerstreuungsanordnung freier Strom, wann Sättigungsstrom herrscht, hängt in erster Linie von der Lebhaftigkeit des Ionisierungsprozesses im Feldraume ab. Um für den vorliegenden Fall hierüber Klarheit zu erhalten, sind zwei umfangreichere Beobachtungsreihen angestellt worden, gemäß der Gliederung des gesamten Beobachtungsmateriales:

a) Untersuchungen bei „freiem Strom“,

b) Untersuchungen bei „Sättigungsstrom“.

Bei a) wurden Spannungen von 8 bzw. 10 Volt als Ausgangsspannungen gewählt, so daß zwischen der geladenen Platte und den 5 cm davon entfernten Wänden der Grube Gefälle von 1,6 bzw. 2,0 Volt/cm bestanden; bei b) wurde schließlich dauernd mit einem Spannungsgefälle von 12 Volt/cm gearbeitet, d. h. die an die Zerstreuungsplatten angelegte Spannung betrug 60 Volt.

Bei dieser Spannung von 60 Volt war der Zustand der Sättigung in dem verhältnismäßig schwach ionisierten Felde tatsächlich bereits erreicht, wie sich durch folgende Versuche zeigen ließ:

Sättigungsstrom besteht dann, wenn eine Steigerung der Spannung keine Vergrößerung der an der geladenen Platte neutralisierten Ionenmengen mehr zur Folge hat. Daher wurde die an die Platten anzulegende Spannung variiert, zunächst von 20—200 Volt, was einer Variation des Gefälles im elektrischen Felde von 4 Volt/cm bis 40 Volt/cm entspricht. Gemessen wurde die Stromstärke zwischen Platte und Erde in derselben Weise wie bei den Registrierungen. Wie S. 18 näher ausgeführt worden ist, war hier darauf zu achten, daß die Empfindlichkeit des Quadrantenelektrometers bei unserer Schaltung eine lineare Funktion der angelegten Spannung ist; es wurde daher für jede Spannung die Empfindlichkeit entweder gesondert bestimmt oder der Empfindlichkeitskurve entnommen. Bei diesen Versuchen machte sich die schon S. 15 erwähnte Eigenschaft des Hartgummis störend bemerkbar: Nicht nur beim Wechsel der Spannungsart, sondern auch beim Über-

gang von geringeren Spannungen zu höheren gleicher Art muß man längere Zeit warten, bis die Hartgummistützen „durchelektrisiert" sind, so daß sie nicht mehr die Nadelwanderung beeinflussen. Bei unseren Versuchen wurde die Spannung in Intervallen von je 20 Volt gesteigert, dafür erwies sich eine Zeit von ca. 30 Minuten als ausreichend, während der die Platten und damit die Hartgummistützen auf der Spannung gehalten wurden, bei der die nächste Beobachtung dann angestellt werden sollte. Das Ergebnis dieser Versuchsreihen wurde kurvenmäßig dargestellt. Als Abszisse wurde die Ausgangsspannung eingetragen, als Ordinate die beobachtete Stromstärke zwischen Platte und Erde, also die in der Zeiteinheit an der Platte neutralisierte Elektrizitätsmenge.

Die Einzelwerte zeigen Schwankungen, was nicht zu verwundern ist. Denn die Versuchsreihen erstreckten sich notwendigerweise über einen Zeitraum von mehreren Tagen; dadurch gehen die gesamten Tagesschwankungen des zu messenden Elementes mit in die Kurve ein. Dem Umstande, daß auch die Werte bei gleicher Spannung aber an verschiedenen Tagen sich von einander unterscheiden, also dem Gange der Tagesmittel, wurde in der Weise begegnet, daß für jeden Tag ein Reduktionsfaktor ermittelt wurde, indem morgens mit derselben Spannung begonnen wurde, mit der am Tag vorher aufgehört worden war. Die entsprechende Kurve zeigt, daß eine Steigerung der Spannung von ca. 60 Volt an bis zu 200 Volt kein weiteres Ansteigen der Stromstärke mehr bewirkt, daß also tatsächlich schon bei etwa 60 Volt diese Stromform erreicht ist.

Wir haben freilich die Messungen weitergeführt und sind schließlich bis zu 1100 Volt Ladespannung, einem Gefälle von 220 Volt/cm entsprechend, übergegangen. Wenn hierbei auch eine Erhöhung der Stromstärke eintrat, so waren diese Messungen doch mit den erstgenannten kaum mehr vergleichbar, weil sie von diesen zeitlich zu weit entfernt lagen; eine unmittelbare Rückkehr zu den niedrigeren Spannungen war aber der bereits erwähnten dielektrischen Nachwirkung des Hartgummis wegen nicht möglich; auch konnte sich bei den hohen Spannungen ein anderer Wert des Isolationsverlustes eingestellt haben.

Wir sind daher im weiteren Verfolge dieser Frage so vorgegangen, daß wir an demselben Tage einige Stunden lang mit niederer, etwa 60 Volt betragenden Spannung registrierten, dann für einige weitere Stunden die Spannungen verdoppelten und die Stundenmittel mit einander verglichen. So ergab sich am 8. XII. 08 der Stundenmittelwert bei 60 Volt Ausgangsspannung zu

1,82 E. S. E.,

bei 120 Volt aber zu

1,83 E. S. E.,

also nur ein Unterschied kaum von der Ordnung der zeitlichen Variation der Zerstreuung.

Weiter mußte sich auch aus der Form der registrierten Stundenkurven selbst die herrschende Stromart erkennen lassen. Einzelne Kurven wurden in zeitliche Intervalle von je 6 Minuten zerlegt, d. h. der ganze Stundenverlauf wurde in 10 Teile geteilt und für jedes Zeitintervall gesondert die an den Platten neutralisierte Elektrizitätsmenge bestimmt. Da die „Arbeitsplatte" ihre Ladung im Lauf der Versuchsstunde langsam verliert, gemäß der neutralisierten Ionenmenge, so ist bei dieser Untersuchungsart der Sättigungsstrom dadurch charakterisiert, daß der Elektrizitätsverlust pro Zeiteinheit sich während der ganzen Stunde als eine Konstante ergibt.

Wir geben hier als Beispiel das Resultat einer Ausmessung der beiden Stundenkurven $4_p^{00}-5_p^{00}$ und $5_p^{00}-6_p^{00}$ am 6. II. 09. In der ersten Zeile steht das Zeitintervall, in der zweiten der Spannungsverlust der Platte während dieses Intervalls, in der dritten die Differenz gegen den Mittelwert, als Korrektion geschrieben.

Zeit	Spannungsverlust	Differenz gegen das Mittel
0′— 6′	1,76	+ 0,03
6′—12′	1,57	+ 0,22
12′—18′	1,73	+ 0,06
18′—24′	1,95	— 0,16
24′—30′	1,91	— 0,12
30′—36′	1,83	— 0,04
36′—42′	1,75	+ 0,04
42′—48′	1,83	— 0,04
48′—54′	1,75	+ 0,04
54′—60′	1,83	— 0,04
	1,79	

Das Beispiel wurde gewählt, weil gerade bei diesen beiden aufeinanderfolgenden Stunden bei der ersten anscheinend ein Steigen der Einzelwerte im Laufe der Stunde, bei der zweiten Stunde dagegen ein Fallen zu beobachten war. Die Tabelle zeigt für das Mittel aus beiden Stunden die Konstanz der Einzelwerte, wenig schwankend um den Mittelwert 1,79. Wie die Spalte 3 zeigt, ist diese Schwankung regellos, bald im einen, bald im anderen Sinn, die maximale Schwankung beträgt 12% des Mittelwertes, liegt also innerhalb der Änderungen, wie wir sie durch die Ionenschwankungen im Verlauf einer Stunde nach den Ergebnissen der großen Tabelle am Schluß der Arbeit zu erwarten haben. Gerade in der zweiten Hälfte der Stunde, in der die Stromform etwa vom „Sättigungsstrom“ zum „ungesättigten Strom“ übergehen könnte, ist die Konstanz am besten; die Abweichungen vom Hauptmittel sind abwechselnd positiv und negativ und dem absoluten Werte nach gleich.

Auch bei den Versuchen mit differenzieller Schaltung der beiden Platten wurde bei 60 Volt Spannung gearbeitet, die eine Platte wurde also auf + 60 Volt, die andere auf — 60 Volt geladen.

Man könnte vielleicht das Bedenken erheben, daß bei unserer Plattenanordnung die Bedingung der Homogenität des Feldes nicht genügend gewahrt sei, und z. B. an den Kanten der Platten Sättigungsstrom herrsche, in der Mitte der Platten aber bereits ungesättigter Strom. Indessen zeigt das S. 25 erwähnte Felddiagramm, daß die Unterschiede in der Stromdichte nur geringe sind, so daß nach der Konstatierung der Tatsache, daß Sättigungsstrom im Ganzen herrscht, auch angenommen werden kann, daß jede einzelne Stromröhre durch diese Stromform ausgezeichnet gewesen ist.

Die in der Tabelle mitgeteilten Zahlen sind sämtlich bei Sättigungsstrom erhalten. Sie geben also nach der in der Einleitung gepflogenen Diskussion die in einer Stunde in den Bodenöffnungen gebildeten oder in diese eingetretenen Elektrizitätsmengen in Form von Ionenladungen des vor den einzelnen Reihen stehenden Zeichens.

Außer diesen „Zerstreuungsmessungen“ sind nun aber auch verschiedene Registrierungen bei niedrigen Spannungen (8 Volt) vorgenommen worden, welche freien Strom ergeben.

In entsprechender Weise wie bei den bei „Sättigungsstrom“ erhaltenen Kurven ist auch hier eine Untersuchung der Stundenkurven in einzelnen Intervallen vorgenommen worden. Sie ergab eine lineare Abhängigkeit der zerstreuten Elektrizitätsmengen von der Spannungshöhe der Platten im Laufe einer Untersuchung, und zwar gibt die kurvenmäßige Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung das für den freien Strom typische Bild einer durch den Nullpunkt des Systems: Stromstärke-Spannung gehenden Geraden.

Für diese Registrierungen ist die Frage nicht ohne Belang, ob man die Luft in den hier benutzten Gruben als stagnierend oder als bewegt anzusehen hat. Es ist ohne Weiteres klar, daß die Luft hier nicht dieselbe Bewegungsfreiheit besitzt, wie etwa die Luft über dem Erdboden in der freien Atmosphäre, bei welcher aus dem Erdboden dringende Emanationen und Ionen durch Luftströmungen im Allgemeinen unmittelbar entführt und verteilt werden, so daß ihre Wirkungen nicht lokalisiert bleiben.

Auf der anderen Seite hat die Luft aber hier auch nicht jene Abgeschlossenheit, wie in größeren Höhlen oder Kellern, in der eine Ansammlung von Emanation und Ionen und eine völlige Stagnation des Luftaustausches mit der äußeren Atmosphäre eintreten kann. Die vorliegenden Verhältnisse entsprechen vielmehr einem mittleren Zustande, der zwischen den beiden Extremen mitten inne liegt. Damit stimmt nun auch die S. 29 durchgeführte Berechnung. Wir fanden, daß in den Gruben bei den Winterregistrierungen 150 Ionen pro cm^3 und sec. gebildet worden. In § 4 wird gezeigt werden, daß im Boden selbst pro cm^3 und sec. etwas mehr als 300 Ionen gebildet werden. Die Luft, welche unsere Zerstreuungskörper umgab, hält also in der Tat etwa die Mitte zwischen der Luft, welche in den Erdkapillaren eingeschlossen ist und der Freiluft in der je nach Örtlichkeit und Jahreszeit 20—50 Ionen in gleicher Zeit und Raumeinheit entstehen.

Dieser Umstand ist von Wichtigkeit, namentlich mit Rücksicht auf die Aussonderung eines Überschusses an positiven Ionen bei dem Passieren aktivierter Luft durch die Kapillaren des Untergrundes. G. C. Simpson hat gezeigt (vgl. oben S. 6), daß bei einem solchen Transpirationsprozesse jener Effekt nur dann zu Stande kommen kann, wenn Unterschiede der Ionisation in den beiden Gebieten, wenn ein Ionisationsgefälle besteht zwischen dem Gebiete, in dem die Luft durch die Hohlräume streicht und demjenigen, in das die Luft übertritt. Dies ist an der freien Erdoberfläche in hohem Maße der Fall, denn es geht aus zahlreichen Untersuchungen hervor, daß in der Bodenluft, selbst in den obersten Schichten des Erdreiches, die Ionisation eine viel lebhaftere ist, als in der der Erdoberfläche unmittelbar benachbarten untersten Schicht des Luftmeeres. Dagegen kann in Höhlen und Kellern, in denen die Luft vollkommen stagniert, dieser Prozeß ganz abgestellt sein. Denn hier wird sich mit der Zeit ein vollkommener Gleichgewichtszustand herausbilden müssen zwischen der Bodenluft und der Keller- oder Höhlenluft. In dieser reichern sich schließlich die Emanationen und ihre strahlenden Zerfallsprodukte derartig an, daß die Ionisation von gleicher Größenordnung wie im umgebenden Erdreiche wird.

Ähnliches würde auch in der freien Atmosphäre eintreten müssen, wenn die Emanationen beständige Gase wären. Dann würde sich ein Gleichgewichtszustand ähnlich wie für die anderen Konstituenten der Atmosphäre herausbilden, ein Grenzzustand, der jenen

Transspirationseffekt und seine Folgen zum Stillstande bringen müßte. Nun zerfallen die Emanationen aber tatsächlich, die Wirkungen ihrer Zerfallsprodukte klingen ab, daher bleibt das Ionisationsgefälle bestehen, so lange der Erdboden noch reicher an radioaktiven Substanzen ist als das Luftmeer und daher bleibt auch jener Prozeß im Gange, der im Stande ist, sicherlich einen Teil des normalen elektrischen Feldes gegenüber der ausgleichenden Wirkung des normalen Ionenstromes zu unterhalten.

Für unseren vorliegenden Fall ergibt sich aber aus diesen Betrachtungen, daß die Zerstreuungswerte, welche an unseren Platten erhalten werden können, namentlich aber die Werte des Überschusses an freien positiven Ladungen jedenfalls wesentlich kleiner ausfallen müssen, als sie sich tatsächlich in der freien Atmosphäre geltend machen.

Gerade mit Rücksicht auf die Feststellung dieses Überschusses an freien positiven Ladungen in der austretenden Luft könnte hier das Bedenken erhoben werden, daß bei der Anordnung, bei welcher die Platte negativ geladen ist, von vornherein eine größere Zerstreuung dadurch bedingt ist, daß sich diese Platte als Kathode in der mit Emanationen erfüllten Grube mit radioaktiven Zerfallsprodukten bedecken muß, die ihrerseits durch ihre Strahlungen, namentlich die α-Strahlen, ionisierend auf die umgebende Luft einwirken werden. Es könnte scheinen, als ob hierdurch von vornherein eine größere Zerstreuung für die — Ladungen, also auch ein Überwiegen der + Ionen vorgetäuscht würde. Dass dieser Einfluß der induzierten Aktivitäten indessen nicht zu einer scheinbaren Unipolarität Veranlassung geben kann, erkennt man bei der folgenden Weiterführung der Betrachtung: Ist die Platte + geladen, so gehen die Kraftlinien des Feldes von ihr aus und enden an den umgebenden Wänden des Hohlraumes, innerhalb dessen sich die geladene Platte befindet. Die aktiven Zerfallsprodukte wandern diesen Kraftlinien entlang und setzen sich nun an den Wänden ab. Hier zerfallen sie und senden ihre Strahlungen aus, von denen wieder die α-Strahlen bei weitem am stärksten ionisierend wirken. Da die Platte allseitig 5 cm von den Wänden absteht, also in einer Entfernung innerhalb deren die Reichweite der α-Strahlen bereits erschöpft ist, so hat jedes in den Gasraum hinaustretende α-Partikelchen auch jetzt noch Gelegenheit sich völlig auszuleben, die Ionisierung, welche in der Grube selbst in Folge der sich niederschlagenden Zerfallsprodukte stattfindet, ist dieselbe, ob die Platte — oder + geladen ist. Ja, man könnte eher daran denken, daß im zweitbetrachteten Falle der + geladenen Platte die Wirkung eher etwas größer wäre, da in diesem Falle die Zerfallsprodukte Gelegenheit haben, sich auf einer viel größeren Fläche, der inneren Gesamtoberfläche der Grube auszubreiten als in dem Falle, wo sie sich auf der Platte versammeln müssen.

3. Nachweis der Bodenatmung.

Vor allem mußte gelegentlich der Registrierungen einmal der Nachweis geliefert werden, daß an den an den Platten neutralisierten Elektrizitätsmengen wirklich auch die aus dem Erdboden dringende Luft mit ihren Ionen und Emanationen einen wesentlichen Anteil besitzt. Da die Bodenöffnungen ja nach oben hin nicht luftdicht abgeschlossen werden konnten[1]), war die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß Luft der freien Atmo-

[1]) Es ließen sich freilich Anordnungen angeben, bei denen eine Art Ventil Luft wohl vom Erdboden aus nach oben hin an den geladenen Elektroden vorbei treten läßt, aber nicht im umgekehrten

sphäre in diese eindrang und folglich die dieser entsprechenden Zerstreuungswerte registriert wurden. Zum Teil ist dies namentlich bei sinkendem Barometer auch sicher der Fall. Um aber abzuschätzen, wie viel bei den registrierten Effekten dieser Wirkung von oben, wie viel der Wirkung der Bodenluft selbst zukommt, wurden viele Tage lang Aufzeichnungen mit beiden Vorzeichen vorgenommen, bei denen die eine oder die andere Öffnung am Boden durch eine hier eingelegte und ringsum abgedichtete, luftdicht schließende Eisenblechplatte von 0,5 mm Dicke abgeschlossen wurde; die erhaltenen Zerstreuungswerte wurden mit den unmittelbar vorher und nachher ohne diesen Schutz erhaltenen in Vergleich gestellt.

Die Schaltung war dabei eine etwas andere als bei den eigentlichen Zerstreuungsmessungen: Die Nadel des Quadrantenelektrometers wurde für sich dauernd auf derselben Spannung erhalten, die beiden Platten wurden allstündlich auf die gleich hohe, davon unabhängige Anfangsspannung gebracht. Eine Wanderung der Elektrometernadel tritt also ein, wenn die eine Platte schneller entladen wird, als die andere. Qualitativ ist dann der Nachweis der Bodenatmung erbracht, wenn eine Drehung der Elektrometernadel von dem Momente an eintritt, in dem an der einen Seite die Bodenfläche durch Metall luftdicht abgedeckt wird. Quantitativ läßt sich der Effekt in derselben Weise bestimmen, wie bei den übrigen Zerstreuungsmessungen. Auch bei der abgedeckten Seite tritt natürlich eine allmähliche Entladung ein, und diese Entladung kompensiert eine gleich große an der nicht abgedeckten Seite, verursacht durch die Ionisation der Luft im Zerstreuungsraume und in den übrigen Räumen des Apparates. Die eventuelle Wanderung des Elektrometerzeigers ist also lediglich eine Folge der Bodenatmung auf der nicht abgedeckten Seite, die entstehenden Stundenkurven sind in gleicher Weise auszuwerten, wie die bei den gewöhnlichen Zerstreuungsmessungen erhaltenen. Nur ist hier keine Korrektion wegen etwaiger Verluste über die Stützen anzubringen, es ist vielmehr die ganze Stundenkurve als Wirkung der Bodenatmung anzusehen.

Die Versuchsreihen gestalteten sich daher in folgender Weise:

1. Beide Platten ohne Abschluß der Bodenöffnungen wurden allstündlich mit gleichem Vorzeichen zur gleichen Potentialdifferenz aufgeladen; beide entluden gleich schnell, denn der Elektrometerzeiger blieb ruhig stehen; geringe Schwankungen traten nur ein, wenn etwa auf einer Seite auf kurze Zeit die Isolationsfähigkeit ein wenig geringer war. Schon ein sehr geringer Isolationsmangel einer Seite bewirkt natürlich bei dieser Schaltung eine intensive Wanderung des Elektrometerzeigers.

2. Die linke Seite wurde mit einem Metallabschlusse versehen; die Registrierung wurde in gleicher Weise wie unter 1. fortgesetzt: Es zeigt sich sofort eine Wanderung der Elektrometernadel in dem Sinn, daß eine schnellere Entladung der rechten Seite vorhanden sein muß, also der Seite, an der die Bodenluft noch austreten kann.

Sinne aus dem Luftraume gegen den Erdboden hin. Hierbei würde dann wirklich der Anteil allein gemessen, welcher den aus dem Boden dringenden Gasmengen zukommt. Wir haben indessen von einem derartigen Ventilabschluß nach oben hin Abstand genommen, weil man sich dabei allzu weit von den in der Natur vorliegenden Fällen entfernt hätte und haben den Nachweis lieber in der oben angeführten Weise geliefert. Bei späteren Versuchen soll der von oben her eindringenden Luft der Ionengehalt durch Metallgazepfropfen genommen werden.

3. Auch die rechte Seite wurde mit Metallabschluß versehen, sodaß nun für beide Platten die Zufuhr der Ionen direkt aus dem Erdboden abgeschnitten war. Sofort ist der Effekt von 2. wieder aufgehoben, der Registrierstreifen zeigt wieder das Bild von 1. Die Elektrometernadel ändert ihre Stellung nicht mehr, da beide Platten gleichschnell entladen.

4. Auf der linken Seite wurde der Metallabschluß wieder entfernt; die Nadel beginnt sofort zu wandern, der Registrierstreifen zeigt jedoch das reziproke Bild zu 2.: die Nadel wandert nun im entgegengesetzten Sinn, da nun die Bodenatmung auf der linken Seite einsetzt.

5. Der Metallabschluß wurde auch auf der rechten Seite wieder entfernt: Die Nadel steht ruhig, beide Seiten entladen gleichschnell, wir haben Bodenatmung von gleichem Betrag auf beiden Seiten.

Damit ist qualitativ gezeigt, daß direkt aus dem Erdboden fertig gebildete Ionen oder ionenerzeugende Emanationen oder Strahlungen austreten. Man kann durch Überdecken mit Metall dieses Austreten verhindern. Daß es sich bei dem Versuch nicht etwa um eine Täuschung infolge einer einseitigen Kapazitätsänderung beim Einlegen der Metallplatten handelt, wurde einfach durch direkte Nachmessung der Kapazitäten mit und ohne Metallabschluß bewiesen: Der Metallabschluß am Boden beeinflußte die Gesamtkapazität nicht in meßbarer Weise.

Als quantitatives Ergebnis aus dieser Versuchsreihe erhielten wir die Tatsache, daß ein großer Teil der in unmittelbarer Nähe des Erdbodens nachweisbaren Ionenmengen entweder direkt fertig gebildet aus den Bodenkapillaren austritt oder den ebenfalls aus diesem hervortretenden ionisierenden Agentien ihre Entstehung in unmittelbarer Nähe des Bodens verdanken. Fig. 15—17 geben ein Bild der Wirkung der Bodenatmung und erläutern zugleich die Auswertung. Fig. 15 zeigt die Tagesaufnahme während beide Platten allstündlich auf — 60 Volt geladen in gleicher Weise direkt der Bodenatmung ausgesetzt sind; man sieht, beide werden gleichschnell entladen, der Elektrometerzeiger steht ruhig. Fig. 16 ist aufgenommen, während die rechte Platte mit Metallabschluß versehen war. Der Lichtzeiger wandert von der Basislinie weg; dies entspricht einem schnelleren Entladen der linken Platte. Diese Stundenkurven sind auszuwerten. Der Stundenmittelwert ergibt eine neutralisierte Elektrizitätsmengen von 0,99 E. S. E., d. h. an der der Bodenatmung ausgesetzten Seite werden pro Stunde 0,99 E. S. E. mehr neutralisiert, als an der gegen die Wirkung der Bodenatmung geschützten Seite. Die Bodenfläche ist ca. $^1/_8$ qm; direkt durch Bodenatmung würde also an diesem Versuchstage dem Boden eine Elektrizitätsmenge entströmen von 7,9 E. S. E. pro Stunde und qm.

Fig. 17 zeigt die folgende Tagesaufnahme, bei der nun beide Seiten mit Metallabschluß versehen waren. Es reproduziert sich das Bild von Fig. 15. Auf beiden Seiten ist der gleiche Effekt; nur ist jetzt eben auf beiden Seiten die Wirkung der Bodenatmung abgeschirmt.

Als Stundenmittelwert der in dieser Weise angestellten Versuche erhielten wir 0,98 E. S. E. Dieser Wert läßt sich nicht ohne weiteres mit den von uns bei den gewöhnlichen Zerstreuungsmessungen erhaltenen Resultaten vergleichen, bei denen die Zerstreuung einer geladenen Platte in unmittelbarer Nähe des Bodens gemessen wurde, und zwar wegen der ziemlich bedeutenden Schwankungen in den Tagesmittelwerten. Eine in derselben Zeit wie diese Bodenatmungsversuche vorgenommene ganztägige Registrierung der Zerstreuung

lieferte nach dem gewöhnlichen Verfahren 1,65 E. S. E. als Stundenmittel. Danach wären die durch Bodenatmung erhaltenen 0,98 E. S. E. rund 60% des Gesamtwertes. Zieht man die sämtlichen freilich nicht zur selben Jahreszeit vorgenommenen Untersuchungen über die Zerstreuung in der Nähe des Erdbodens zum Vergleich heran, so erhält man für die gleiche Ionenart einen Stundenmittelwert von 2,09 E. S. E. Dann wären auf Rechnung der direkten Bodenatmung nur 47% zu setzen. Der Wert von 60% ist aber als der wahrscheinlichere anzusehen, da er aus Versuchen gefunden ist, die einander zeitlich so nahe liegen, als es die Versuchsbedingungen überhaupt zuließen. Das würde heißen: 60% der in unmittelbarer Nähe des Erdbodens zu messenden Ionenmengen sind entweder schon zum Teil fertig gebildet oder durch ionenerzeugende Agentien durch die Bodenatmung ans Tageslicht gefördert worden.

Wichtig vor allem ist nun zu entscheiden, welches von den ionisierenden Agentien durch die Bedeckung der Bodenflächen unserer Gruben tatsächlich abgeschirmt wird; wir wollen die am Schlusse des § 1 bereits genannten drei Agentien daraufhin kurz betrachten:

Schon oben S. 28 wurde erwähnt, daß auf das Konto der durchdringenden Strahlung nur etwa 10 pro cm^3 und sec. gebildete Ionen zu setzen sind. Durch die nur 0,5 mm dicken Eisenblechplatten wird außerdem die durchdringende Strahlung nur um einen geringen Prozentsatz geschwächt. Die pro Raum- und Zeiteinheit sich bildende Ionenzahl geht aber, wenn wir die S. 29 berechneten Zahlen zu Grunde legen, durch die Bodenbedeckung nach dem oben angeführten Ergebnisse um 60 — 90 zurück. Daraus folgt, daß es wesentlich die Emanationen, die von den radioaktiven Stoffen in den obersten Schichten des Erdreichs ausgehende α-Strahlung und Ionen selbst sind, die am Austritte behindert werden. Aus diesem Ergebnisse ist aber weiter zu schließen, daß es gerade die eben genannten Agentien sind, welche den Hauptanteil der am Erdboden zu beobachtenden Zerstreuung bedingen, daß also tatsächlich eine „Bodenatmung“ existiert und als wirksames Agenz in die luftelektrischen Zustände gestaltend eingreift.

Der absolute Betrag dieser emporquellenden Elektrizitätsmengen ist nun, wie sich auch experimentell zeigen ließ, stark abhängig von den äußeren Bedingungen, unter denen der Austritt aus dem Erdreich in die freie Atmosphäre erfolgt. Die Wirkung der obersten Erdschicht im speziellen soll im folgenden Kapitel näher beleuchtet werden, ehe über diesen absoluten Betrag definitive Zahlenangaben gemacht werden.

4. Nachweis der Diaphragmenwirkung von Bodenbedeckungen mit engen Kapillaren.

Schon oben S. 10 war auf die Wichtigkeit hingewiesen worden, welche in der Natur die Humus- und Vegetationsdecke bei den hier zu studierenden elektrischen Prozessen spielen muß. Diese Bedeckungen des meist viel großkörnigeren und lockeren, spalten- oder hohlraumreicheren Untergrundes müssen mit ihren viel engeren Kanälchen und Kapillaren bei der Transpiration der Bodenluft wie ein Diaphragma wirken. Einmal halten sie die Bodenluft unter sich fest; sie lassen sie nicht unmittelbar und rasch entweichen, sondern bedingen eine gewiße Stagnation der Erdluft. Dadurch müssen sich sowohl die gasförmigen Emanationen und ihre Zerfallsprodukte wie aber auch die Ionen selbst

unmittelbar unter oder in dieser Schicht besonders stark anreichern. Alle Prozesse, welche mit dem Wandern dieser Produkte zusammenhängen, z. B. die reichlichere Adsorption der negativen Ionen in der Schicht selbst, das Hervortreten der Luft mit einem Überschusse an positiven Ionen aus ihr heraus, müssen gesteigert erscheinen. Diese „Diaphragmenwirkung", wie wir sie nennen wollen, war von dem einen von uns[1]) bereits früher an künstlich ionisierter Luft eingehender studiert worden. Für die Übertragung auf die natürlichen Vorgänge war aber der Nachweis von Wichtigkeit, daß auch bei der aus dem Boden selbst entsteigenden Luft diese Wirkung nachweisbar sei. Denn gerade gegen diesen Punkt richteten sich ja die Angriffe bei dem Versuch, eine auf dieser Übertragung basierende Arbeitshypothese in die luftelektrische Forschung einzuführen. So bezweifelt Herr H. Gerdien[2]) (a. a. O. S. 655), daß „stark ionisierte Luft aus den Hohlräumen des Erdbodens in die Atmosphäre dringt"; nach ihm ist es nur Emanation, welche aus dem Boden in die Atmosphäre übergeht; er fährt fort: „Allein die Anschauung, nach welcher bei dem Hervordringen von stark ionisierter beziehungsweise emanationshaltiger Luft aus dem Erdboden ein Überschuß an positiven Ionen in die Atmosphäre gelangt, rührt von H. Ebert her". Ihm scheint dieser Vorgang des Nachweises noch dringend zu bedürfen.

Emanationen oder die strahlenden Zerfallsprodukte derselben liefern immer gleich viel positive wie negative Ionen. Hätte Herr Gerdien Recht, so könnte der in der Atmosphäre tatsächlich vorhandene Überschuß an freien positiven Ladungen in keiner Weise mit Vorgängen der Bodenatmung in Zusammenhang stehen. Alsdann dürfte der Betrag dieses Überschusses sich aber auch nicht ändern, wenn man an den obersten Schichten des Bodens irgendwelche Änderungen vornimmt. Wir werden sehen, daß dies durchaus nicht zutrifft. Gerade jener Überschuß an positiven Ionen erweist sich in hohem Grade abhängig von der Beschaffenheit der obersten Bodenschicht. Wir sehen, daß wir hier an das Hauptproblem der atmosphärischen Elektrizität überhaupt rühren: Man kann auf der einen Seite das elektrische Erdfeld als etwas Gegebenes ansehen; dann ist die Erdoberfläche normaler Weise die Kathode des Ionisierungsraumes, an ihr muß sich ein Überschuß an positiven Ionen vorfinden. Man kann aber andererseits diesen Überschuß als das Primäre ansehen und das Feld als Folgeerscheinung desselben; dann müssen Vorgänge, welche diese freie Raumladung immer wieder regenerieren und dauernd aufrecht erhalten, auch mitbeteiligt sein bei der Aufrechterhaltung des Feldes überhaupt. Denn findet bereits an der Erdoberfläche eine Trennung von Ladungen in dem Sinne statt, daß ein Überschuß an — Ladungen im und am Boden selbst zurückgehalten und der entsprechende Überschuß an + Ladungen den unteren atmosphärischen Schichten zugeführt wird, so ist mit der Bildung einer Oberflächenschicht von der Dichte η zugleich die Ausbildung eines Gefälles $\mathfrak{E}$ nach der bekannten Gleichung

$$-4\pi\eta = \mathfrak{E}$$

unweigerlich verknüpft.

Herr G. C. Simpson[3]) erkennt zwar die Möglichkeit an, daß derartige Prozesse in der Natur tatsächlich vorkommen (a. a. O. S. 735), ist aber geneigt, ihnen nur eine ganz untergeordnete Bedeutung zuzubilligen.

---

[1]) Vgl. hierüber die oben S. 6 angegebene Literatur.

[2]) H. Gerdien, Physikal. Zeitschrift 6, 647, 1905. [3]) G. C. Simpson, ebenda 5, 734, 1904.

Wie groß der Einfluß dieses Prozesses ist, darüber können natürlich nur direkte Messungen entscheiden. Daß er tatsächlich nicht zu vernachlässigen ist, zeigen die folgenden Versuche.

Unsere Anordnung bot uns in einfacher Weise die Mittel an die Hand, die strittige Frage zu klären: Von der Kiesmasse, welche den Untergrund unserer Bodenöffnungen bildete, wurde eine 2 cm dicke Schicht abgehoben und durch eine ebenso dicke Schicht feinen Quarzsandes (Scheuersand oder Sand, wie er in den Laboratorien zu „Sandbädern" benutzt wird) ersetzt. Vorher war in dem Elster-Geitelschen Apparate[1]) zu Radioaktivitätsbestimmungen von Bodenproben sowie außerdem noch mittels einer anderen Anordnung, in einer mit Quadrantenelektrometer verbundenen Ionisierungskammer mit Sicherheit festgestellt worden, daß die gewählte Sandprobe keine Spur eigener Aktivität aufwies.

Die Versuche wurden so angeordnet, daß zunächst nur eine, dann die andere, schließlich beide Öffnungen abgesandet wurden. Jedesmal wurde mehrere Tage hindurch registriert und die Werte mit den vorher und nachher ohne Absandung erhaltenen verglichen.

Zweierlei Wirkungen sollten bei der Absandung studiert werden: einmal die Änderung der Absolutwerte der positiven und negativen Zerstreuung bei Änderung der Austrittsschicht, zweitens die Änderung der Differenz zwischen positiver und negativer Zerstreuung, also die größere Beeinflussung der einen Ionenart gegenüber derjenigen der anderen. Qualitativ wurde der Nachweis einer tatsächlichen solchen Einwirkung der obersten Bodenschicht in ähnlicher Weise geführt wie bei dem Nachweis der Bodenatmung. Fig. 18 und 19 erläutern das Verfahren durch die erhaltenen Registrierkurven: Beide Platten wurden allstündlich zum gleichen Potentiale geladen; die Nadel ist dauernd für sich geladen; eine Wanderung der Elektrometernadel tritt also nur ein, wenn eine der beiden Platten schneller entlädt. Zunächst standen beide Platten dem unveränderten Boden gegenüber. In Fig. 18 ist 11^{00}_{a} der Anfang, von 11^{00}_{a} bis 5^{20}_{p} wurde in dieser Weise registriert; beide Platten zerstreuen gleichschnell, der Elektrometerzeiger zeigt schwach das Bestreben, von der Basis wegzuwandern. 5^{20}_{p} wurde rechts der grobe Kies 2 cm tief abgehoben und feiner Sand an seiner Stelle in gleicher Schichtdicke aufgetragen. Die Unterbrechung war nur kurz, die Registrierung begann unmittelbar darnach wieder, wie die Figur zeigt: Der Elektrometerzeiger wandert von da an ständig und zwar nach der Basis hin, was einer schnelleren Entladung der rechten, also der abgesandeten Seite entspricht. Die Figur zeigt also zunächst qualitativ, daß eine Erhöhung der Zerstreuung in unmittelbarer Nähe des Bodens eintritt, sobald man die grobkörnige Kiesschicht durch eine feine Sandschicht ersetzt. Daß wirklich lediglich die nene Abdeckungsart die Ursache der Erscheinung ist, vor allen daß nicht etwa an dieser Stelle des Bodens durch Wegnahme des groben Kieses dem Austritt der Ionen ein zufällig besserer Weg gewiesen wurde, zeigt Fig. 19, die die Fortsetzung der Registrierung von Fig. 18 bildet. Der Anfang ist bei 10^{00}_{a}, von 9^{25}_{a} bis 5^{15}_{p} ist in gleicher Weise registriert wie in Fig. 18 von 5^{20} an, also mit Sandabdeckung der rechten Seite. 5^{15}_{p} wurde nun aber auch auf der linken Seite der grobe Kies herausgenommen und eine Sandschicht aufgelegt. Sofort ist in starkem Maße der Effekt des schnelleren Entladens der rechten Seite wenn auch nicht ganz aufgehoben, so doch stark zurückgedrückt und zwar durch ein nun ebenfalls einsetzendes rascheres Ent-

[1]) J. Elster und H. Geitel, Physikal. Zeitschrift 5, 11 und 321, 1904.

laden der linken Seite. Das Ersetzen der groben Kiesschicht durch eine feine Sandschicht hat also tatsächlich die Zerstreuung in unmittelbarer Nähe des Bodens erhöht.

Daß in Fig. 19 der Effekt der schnelleren Entladung einer Seite von 5_p^{15} nicht momentan völlig unterdrückt wurde, kann einen doppelten Grund haben: Einmal ist es möglich, daß bei der verhältnismäßig dünnen Sandschicht, die aufgetragen wurde, die Schicht auf einer Seite etwas dünner ausfiel als auf der anderen, was dann ein geringes Wandern des Elektrometerzeigers bewirken würde, im Sinne einer schnelleren Entladung der Seite mit der stärkeren Sandschicht.

Zweitens sieht man aber, daß die einzelnen Kurvenäste, die sich von 5_p^{15} an noch bilden, langsam an Länge abnehmen. Dies hat, wie bereits oben bemerkt, seinen Grund darin, daß in der Sandschicht eine Anreicherung an radioaktiven Emanationen und ihren Zerfallsprodukten stattfindet. Der Maximalwert auf der neu abgesandeten Seite ist erst nach einigen Stunden erreicht; so lange müssen also auch die verbleibenden Restkurven noch abnehmen.

In klarer Weise zeigt auch Fig. 20 die Diaphragmenwirkung. Die Schaltung ist hier anders gewählt als bei dem ersten Nachweis und zwar, weil nun ein direkterer Vergleich der bei verschiedener Bodenbedeckung erhältlichen Zerstreuungswerte auch nach der quantitativen Seite hin erzielt werden sollte.

Bei Fig. 20 ist die Nadel und das eine Quadrantenpaar dauernd auf + 60 Volt gehalten, das zweite Quadrantenpaar mit der angesetzten Platte wird allstündlich auf + 60 Volt geladen. Eine Wanderung des Elektrometerzeigers wird also bewirkt durch die Entladung der nicht dauernd mit der Batterie verbundenen Platte. Fig. 20 bildet den Schluß einer längeren Registrierreihe, bei der der Boden mit der oben erwähnten Sandschicht bedeckt war. In der Fig. 20 sind die Registrierungen zweier aufeinanderfolgender Tage, die auf demselben Streifen übereinander aufgezeichnet wurden, zu sehen. Von 7. III. 11_a^{16} an bis 8. III. 4_p^{20} war der Boden mit Sand bedeckt, es bilden sich die großen Stundenwerte, die für die beiden Tage an denselben Stunden nicht wesentlich voneinander abweichen. 4_p^{20} am 8. III. wurde die Registrierung unterbrochen, die Figur zeigt eine Lücke bis 5_p^{55}. In dieser Zeit wurde die ganze Anordnung durchgeeicht, es ergaben sich dieselben Werte wie früher. Darauf wurde nun die Sandschicht entfernt und 5_p^{55} mit der Registrierung neu begonnen. Die Wirkung ist sofort zu sehen: Die Ordinatenwerte sind auf ca. $^2/_3$ der ursprünglichen Länge verkürzt gegenüber den Werten zur gleichen Stunde am vorhergehenden Tage. Da vor Wegnahme der Sandschicht die Stundenwerte an den beiden Tagen nahezu denselben Wert hatten, so ist die Sandschicht tatsächlich als Ursache der Vergrößerung der Zerstreuungswerte anzusehen. Der entsprechende Versuch wurde mit gleichem Erfolg wiederholt, indem nun mit Hilfe der zweiten Platte die entsprechenden Aufnahmen mit und ohne Sand vorgenommen wurden.

Von diesen beiden Versuchsreihen mißt die erste direkt die Ionenmenge, die an einer mit Sand bedeckten Bodenfläche mehr ins Freie tritt als an einer mit einer Kiesschicht abgeschlossenen. Die zweite vergleicht die in beiden Fällen erhältlichen Absolutwerte. Ausgedehnte Beobachtungsreihen wurden naturgemäß nur in der zweiten Art angestellt. Was die quantitativen Ergebnisse betrifft, so ist vorweg zu bemerken, daß die Resultate beider Versuchsreihen in guter Übereinstimmung stehen. Die Ausmessungen der Fig. 20

ergeben als Stundenmittel für die Zeit, in der an den beiden aufeinanderfolgenden Tagen mit und ohne Sand registriert worden ist:

Mit Sand: 3,15 E. S. E.
Ohne Sand: 2,07 E. S. E.

Das heißt, durch die Sandabdeckung ist die Zerstreuung im Verhältnis

1 : 1,52

in die Höhe getrieben worden.

Das Mittel aus sämtlichen Stundenwerten aller Versuche bei gleichem Vorzeichen (die Platte + geladen) und bei Abdeckung mit Sand wurde zu

2,97 E. S. E.

gefunden.

Das Mittel aus allen Versuchen (Stundenbeobachtungen) ohne Sand ergab

1,96 E. S. E.

Als Mittelwert des Verhältnisses, in dem die Zerstreuung (bei positiv geladener Platte) durch die Absandung in die Höhe getrieben wurde, erhalten wir also

1,96 : 2,97

1 : 1,52

Das in Fig. 20 gegebene Beispiel repräsentiert also zufällig sehr genau das durchschnittliche Verhältnis der hervorgerufenen Änderung.

Bildet man das entsprechende Verhältnis für die andere Ionenart (Platte negativ geladen) so erhält man als Mittel

1 : 1,57

Auf die Bedeutung des Unterschiedes dieser beiden Verhältnisse kommen wir später noch zu sprechen.

Die Differenz der absoluten Werte der Ordinaten in Fig. 20 für die Beobachtung mit und ohne Sand beträgt 1,08 E. S. E. pro Stunde. Das Hauptmittel aus allen Beobachtungen bei gleichem (positivem) Vorzeichen der Plattenladung beträgt

1,01 E. S. E.

Die Auswertung der nach Art von Fig. 18 und 19 vorgenommenen Untersuchungen liefert einen höheren Wert: An der abgesandeten Seite wird eine Elektrizitätsmenge von 1,92 E. S. E. mehr neutralisiert. Da in dieser Weise nur wenige Stichproben gemacht wurden, während der Wert

1,01 E. S. E.

das Ergebnis einer über lange Zeit erstreckten Registrierung ist, so ist dieser Betrag unseren weiteren Betrachtungen zu Grunde zu legen.

Der entsprechende Wert für das andere Vorzeichen, die Steigerung der Zerstreuung der negativen Elektrizität durch die Absandung einer Seite, ist

3,28 − 2,09 = 1,19 E. S. E.

Durch die Sandschicht wurde also in unmittelbarer Nähe des Bodens ein Mehr an negativen Ionen von 1,01 E. S. E. pro Stunde, ein Mehr an positiven Ionen von 1,19 E. S. E.

in Freiheit gesetzt. Als Verhältnis dieser Mengen erhalten wir 1,01 : 1,19 = 1 : 1,18. Als Mittelwert der bei ungeändertem Boden vorgenommenen Registrierungen erhielten wir:

Für negative Ionen: 1,96 E. S. E.
„ positive „ : 2,09 E. S. E.

Dies gibt als Verhältnis der dem ungeänderten (mit Kiesschicht bedeckten) Boden entströmenden Ionenmengen

1 : 1,067.

Bildet man das entsprechende Verhältnis der Mittelwerte, die bei abgesandetem Boden erhalten worden sind, so findet man:

1 : 1,110.

Man sieht also folgendes: Bei kiesbedecktem Boden verlassen Ionenmengen die Erdoberfläche, bei denen sich die Zahl der leichter beweglichen zu der der schwerer beweglichen verhält wie

1 : 1,067.

Ersetzt man die grobkörnige oberste Kiesschicht von ca. 2 cm Dicke durch eine feinkörnige Sandschicht von derselben Dicke, also eine Schicht mit sehr engen Kapillaren, so steigert sich das Verhältnis auf

1 : 1,110.

Zweierlei ist hieraus zu schließen:

1. Es ist möglich, das Verhältnis, in dem die dem Boden entquellenden Ionenmengen beider Arten zu einander stehen, zu beeinflussen durch eine Versuchsanordnung, die lediglich die Ausströmungsbedingungen verändert. Der Unterschied zwischen positiven und negativen Ionenmengen vergrößert sich, wenn man sie zwingt, durch eine Schicht mit engen Kapillaren hindurchzutreten. Es ist also tatsächlich die Adsorption der Ionen an den Kapillarwänden als eine der Ursachen dafür anzusehen, daß die Elektrizitätsmengen bereits mit einem Überschusse an positiven Ionen ins Freie treten. Da bereits eine Sandschicht von 2 cm Dicke hinreicht, um das Verhältnis von 1,07 auf 1,11 hinaufzudrücken, so haben wir offenbar die Adsorption sogar als die Hauptursache der ganzen Erscheinung anzusehen. Denn das Verhältnis, in dem die Ionen aus dem Boden austreten können, wenn Vorgänge von der Art der Adsorption wirksam sind, muß sich einem Grenzwerte nähern, der durch das Verhältnis der Ionenbeweglichkeiten gegeben ist. Das Verhältnis der Ionenzahlen kann sich steigern bis zum umgekehrten Verhältnis der Ionenbeweglichkeiten. Dieses letztere ist freilich von der Feuchtigkeit stark abhängig und kann für Ionen in feuchter Atmosphäre beispielsweise 1,1 werden, also einen Wert erreichen, den wir oben durch Aufsetzen einer stärker adsorbierenden Sandschicht auf den Boden tatsächlich erreicht haben.

Da wir also einmal nachgewiesen haben, daß Bodenatmung tatsächlich stattfindet, d. h., daß fertig gebildete Ionen dem Boden entströmen, zweitens daß das Verhältnis, in dem die Ionen den Boden verlassen, veränderlich ist mit der obersten Bodenschicht, die die Ionen durchstreichen müssen, so ist die Adsorption der Ionen in den Erdkapillaren als eine der Ursachen des tatsächlichen Überschusses der positiven Ionen in der Atmosphäre mit Sicherheit anzusehen.

2. Die Zahlenwerte 1,07 und 1,11 für das Verhältnis der Ionenmengen beider Arten gestattet auch einen Schluß auf die Bodentiefe, aus der Ionen in die freie Atmosphäre zu gelangen vermögen. Da dies Verhältnis einen Grenzwert besitzt, da wir bei unbedecktem Boden[1]) 1,07 als Verhältnis erhielten und schließlich bereits durch 2 cm Sand dies Verhältnis auf 1,11 erhöhen konnten, so ist zu schließen, daß die Ionen nur aus sehr geringer Tiefe aus dem Erdboden kommen. Genügte zur Steigerung des Verhältnisses von 1,07 auf 1,11 bereits eine Sandschicht von 2,0 cm, so können wir schließen, daß in erster Annäherung zur Erzeugung des Verhältnisses 1,07, also gewissermaßen zu einer Steigerung von 1,00 auf 1,07 eine Sandschicht von 3,5 cm Dicke ausgereicht hätte. Jedenfalls ist eine Sandschicht von wenigen cm Dicke ausreichend zur Erzeugung des Verhältnisses 1,07. Wir wollen nun einmal annehmen, daß nur aus einer Tiefe von 3,5 cm Ionen an die Erdoberfläche zu dringen vermögen. Welche Ionenmengen müßten dann im cm^3 Bodenluft ständig erzeugt werden, damit der Ausströmungsprozeß durch Diffusion ständig aufrecht erhalten werden könnte?

Aus unseren Beobachtungen (vgl. die Tabellen am Schlusse der Arbeit) ergibt sich, daß rund 16 E. S. E. pro Stunde und qm an einer Platte über dem Erdboden neutralisiert werden. Davon hatten wir ca. 60% auf direkte Bodenatmung zu rechnen, also 9,6 E. S. E. In lockerem Sandboden hat man, wie durch die Versuche von Mitscherlich nachgewiesen ist, ca. 50% des Volumens als Bodenluft zu rechnen. Da wir mit einer Schichtdicke von 3,5 cm Sand rechnen wollen, so müßten also die 9,6 E. S. E. in einer Bodenluftmenge von 17500 cm^3 gebildet und ständig nachgeliefert werden, d. h. im cm^3 Bodenluft müßten in der Sekunde erzeugt werden:

$$\frac{9{,}6 \cdot 10^{10}}{3600 \cdot 4{,}6 \cdot 17\,500} = 331 \text{ Ionen.}$$

Ca. $3 \cdot 10^2$ Ionen müßten im cm^3 Bodenluft in der Sekunde erzeugt werden, wenn der Ausströmungsprozeß aufrecht erhalten werden soll. Das aber ist die Größenordnung, wie sie durch direkte Messungen mit Bodenluft bereits festgelegt ist. Speziell sei hier hingewiesen auf eine Arbeit von Herrn L. Endrös, die als Dissertation der K. Technischen Hochschule gerade erscheint. Herr Endrös hat in unserer Beobachtungshütte, also unmittelbar bei der Stelle, an der unsere Beobachtungen angestellt sind, Registrierungen der in der Bodenluft enthaltenen radioaktiven Emanationen vorgenommen. Er findet als Mittelwert für die Zahl der im cm^3 Bodenluft in der Sekunde erzeugten Ionen: 306, eine Zahl, die mit unserem auf durchaus anderem Wege gefundenen Werte 331 in denkbar bester Übereinstimmung steht.

Die Zahl 331 ist berechnet für den Fall, daß die Austrittsschicht für die Ionen durch eine Decke von feinem Sand gebildet wird. Vergleichbare Verhältnisse werden wir überall in der Natur haben; die in Betracht kommende Schichtdicke kann freilich je nach der Feinheit der Kapillaren etwas schwanken. Jedenfalls sehen wir aber, daß sich an dem Bodenatmungsprozeß nur die obersten Zentimeter des Bodens beteiligen. Aus größerer Tiefe als ca. 10 cm werden keine fertig gebildeten Ionen mehr an die Erdoberfläche, also in die freie Atmosphäre gelangen. Was in größerer

---

[1]) Die Kiesschicht von 2 cm Dicke, die wir abgehoben haben, bestand aus lockerem, ganz grobkörnigem Gerölle, bei dem wir von einer Kapillarwirkung in unserem Sinn einfach absehen können.

Tiefe an Ionen entsteht, verschwindet wieder durch Wiedervereinigung, Molisierung, Adsorption, Absorption u. s. w.

Die Versuche scheinen uns noch nach einer anderen Richtung von Bedeutung: Vermag eine dichtere Bodenbedeckung tatsächlich eine Anreicherung von Emanationen und ihren Produkten herbeizuführen, so muß dies auch mit den aktiven Zerfallsprodukten derselben geschehen, die sich ja wie träge positive Ionen verhalten. Alsdann muß aber auch die von ihnen ausgehende durchdringende Strahlung stärker werden. Alle Prozesse, welche eine „Bodenatmung" in dem hier besprochenen Sinne herbeiführen, müssen daher auch die durchdringende Strahlung an der Erdoberfläche beeinflussen. Dringt die Bodenluft empor, etwa bei sinkendem Barometerstande oder in Folge starker Bodeninsolation, so müssen nicht nur die Emanationen selbst, sondern auch ihre Zerfallsprodukte empordringen und sich in den oberen Schichten anreichern. Hierdurch erklärt sich vielleicht der auffallende Parallelismus im täglichen Gange der aus dem Erdboden empordringenden Emanationsmengen, wie er hier in München zum ersten Male registriert wurde[1], und der durchdringenden Strahlung, worauf schon Herr A. Gockel[2]) hingewiesen hat. Nur glauben wir nicht, daß es die Zerfallsprodukte der in das freie Luftmeer bereits übergetretenen Emanationen sind, welche diesen täglichen Gang bedingen; denn ihre Wirksamkeit ist dazu zu gering. Nach den Messungen von K. Kurz[3]) ist die Gesamtwirkung der in der Luft suspendierten Emanationen und ihrer Zerfallsprodukte im Mittel auf 1—2 Ionen pro cm^3 und Zeiteinheit einzuschätzen. Erst ein geringer Bruchteil hiervon ist auf Rechnung derjenigen durchdringenden Strahlung zu setzen, die von diesen Substanzen ausgeht. In Betracht kommen eher die in den obersten Schichten des Bodens festgehaltenen Produkte. Für diese berechneten wir oben die Wirksamkeit zu rund 300 Ionen pro cm^3 und sec.; man sieht also, daß wir hier viel wirksamere Agentien haben, und da es wesentlich die obersten Schichten sind, welche in Betracht kommen, so ist auch die Absorption in der Erdsubstanz selbst für die sehr durchdringenden Strahlen nur gering.

5. Die Zerstreuungswerte im Einzelnen und ihre Gesamtmittel.

Tab. 1 und 2 am Schlusse der Arbeit enthalten, wie bereits S. 27 bemerkt, die Aufnahmen nach Tagen, Stunden und Vorzeichen der gemessenen Ionenart geordnet. Tab. 1 enthält die Untersuchungen bei ungeändertem Boden, Tab. 2 die bei der Überdeckung des Bodens mit Sand erhaltenen Resultate. Die eingetragenen Zahlenwerte sind E. S. E. pro Stunde, die an der geladenen Platte neutralisiert wurden. Die letzte Rubrik enthält die Tagesmittel, wobei natürlich wie auch bei den Stundenwerten die Verluste durch Isolationsmängel u. s. w. in Abrechnung gebracht sind.

Es stehen 975 Stundenregistrierungen der positiven Ionen und 1250 der negativen Ionen zur Verfügung, davon sind 1359 bei ungeändertem Boden, die übrigen 866 bei sandbedecktem Boden gewonnen.

[1]) Vgl. H. Ebert, Physikal. Zeitschrift **10**, 346, 1909.

[2]) A. Gockel, Über die durchdringende Strahlung, Arch. des sc. phys. et nat. **27**, 619, 1909.

[3]) Vgl. Radium, Thorium und Aktinium in der Atmosphäre und ihre Bedeutung für die atmosphärische Elektrizität, Habilitationsschrift der Technischen Hochschule München. (Erscheint zur Zeit in den Berichten der Bayer. Akad. der Wiss. München als Abh. d. math.-phys. Kl. XXV, 1. Abh.)

1. Bei kiesbedecktem (ungeändertem) Boden lieferten
729 Messungen der positiven Ionen als Mittelwert:

2,09 E. S. E. pro Stunde,

630 Messungen der negativen Ionen ergaben:

1,96 E. S. E. pro Stunde.

Bezeichnen wir diese Mittelwerte mit E_+ bzw. E_-, so erhalten wir

$$Q = E_+ - E_- = +0{,}13 \text{ E. S. E. pro Stunde}$$
$$q = E_+ / E_- = 1{,}067.$$

Eine zweite Zusammenstellung umfaßt die Werte, die an Tagen mit lückenloser Beobachtung gewonnen wurden; gemeint sind also hierbei Tage, bei denen 24 Stundenwerte zur Verfügung stehen. In entsprechender Bezeichnung erhalten wir dann

$$E'_+ = 2{,}20 \text{ E. S. E. pro Stunde}$$
$$E'_- = 2{,}06 \text{ E. S. E.} \quad " \quad "$$
$$Q = E'_+ - E'_- = +0{,}14 \text{ E. S. E.} \quad " \quad "$$
$$q = E'_+ / E'_- = 1{,}068.$$

Auch hier zeigt sich wieder der reale Überschuß der positiven Ionen mit 0,13 bis 0,14 E. S. E. pro Stunde und Plattenfläche, d. h. mit etwas über 1 E. S. E. pro qm Erdboden, oder mit einem Verhältnis der beiden Ionenmengen = 1,07.

2. Bei sandbedecktem Boden ergeben sich folgende Mittelwerte in entsprechender Bezeichnung

$$E_{1_+} = 3{,}28 \text{ E. S. E. pro Stunde}$$
$$E_{1_-} = 2{,}97 \text{ E. S. E.} \quad " \quad "$$
$$E_{1_+} - E_{1_-} = +0{,}31 \text{ E. S. E.} \quad " \quad "$$
$$q = E_{1_+} / E_{1_-} = 1{,}110.$$

Bei Ausschaltung aller Tage, bei denen Lücken in der Tagesregistrierung vorkommen

$$E'_{1_+} = 3{,}32 \text{ E. S. E. pro Stunde}$$
$$E'_{1_-} = 2{,}99 \text{ E. S. E.} \quad " \quad "$$
$$E'_{1_+} - E'_{1_-} = +0{,}33 \text{ E. S. E.} \quad " \quad "$$
$$q = E'_{1_+} / E'_{1_-} = 1{,}110.$$

Auch hier wie unter 1. zeigt sich also bei beiden Zusammenfassungen der Überschuß der positiven Ionen.

Auf die Bedeutung dieses Überschusses und auf die Tatsache einer Steigerung des Überschusses von ca. 1 E. S. E. pro qm und Stunde auf ca. 2,5 E. S. E. pro qm lediglich durch Änderung der obersten Bodenschicht, ist an anderer Stelle näher eingegangen (vgl. S. 40 ff.).

Hier sollen zunächst die Abweichungen der Einzelwerte von den oben gegebenen Mittelwerten betrachtet werden.

1. Boden mit Kies bedeckt:

a) bei Benutzung sämtlicher Werte:

α) positive Ionen:

Tagesmittel:	2,09 E. S. E.	
Größter Tageswert:	2,94;	Differenz: + 0,85
Kleinster „ :	1,54;	„ : — 0,55
Größter Stundenmittelwert:	2,25;	„ : + 0,16
Kleinster „ :	1,77;	„ : — 0,32

β) negative Ionen:

Tagesmittel:	1,96 E. S. E.	
Größter Tageswert:	2,48;	Differenz: + 0,52
Kleinster „ :	1,30;	„ : — 0,66
Größter Stundenmittelwert:	2,22;	„ : + 0,26
Kleinster „ :	1,61;	„ : — 0,35

b) bei Benutzung lückenloser Tage:

α) positive Ionen:

Tagesmittel:	2,20 E. S. E.	
Größter Tageswert:	2,86;	Differenz: + 0,66
Kleinster „ :	1,72;	„ : — 0,48
Größter Stundenmittelwert:	2,45;	„ : + 0,25
Kleinster „ :	1,87;	„ : — 0,33

β) negative Ionen:

Tagesmittel:	2,06 E. S. E.	
Größter Tageswert:	2,35;	Differenz: + 0,39
Kleinster „ :	1,30;	„ : — 0,76
Größter Stundenmittelwert:	2,41;	„ : + 0,35
Kleinster „ :	1,47;	„ : — 0,59

2. Boden mit Sand bedeckt:

a) bei Benutzung sämtlicher Werte:

α) positive Ionen:

Tagesmittel:	3,28 E. S. E.	
Größter Tageswert:	3,84;	Differenz: + 0,56
Kleinster „ :	3,10;	„ : — 0,18
Größter Stundenmittelwert:	3,42;	„ : + 0,14
Kleinster „ :	3,14;	„ : — 0,14

β) negative Ionen:

Tagesmittel:	2,97 E. S. E.	
Größter Tageswert:	3,96;	Differenz: + 0,99
Kleinster „ :	2,52;	„ : — 0,45
Größter Stundenmittelwert:	3,27;	„ : + 0,30
Kleinster „ :	2,86;	„ : — 0,13

b) bei Benutzung lückenloser Tage:

α) positive Ionen:

Tagesmittel:	3,32 E. S. E.		
Größter Tageswert:	3,84;	Differenz:	+ 0,52
Kleinster „ :	3,10;	„ :	— 0,22
Größter Stundenmittelwert:	3,49;	„ :	+ 0,17
Kleinster „ :	3,16;	„ :	— 0,16

β) negative Ionen:

Tagesmittel:	2,99 E. S. E.		
Größter Tageswert:	3,60;	Differenz:	+ 0,61
Kleinster „ :	2,53;	„ :	— 0,46
Größter Stundenmittelwert:	3,29;	„ :	+ 0,30
Kleinster „ :	2,79;	„ :	— 0,20

Zweierlei zeigt sich durchweg in diesen Zusammenstellungen:

1. Die Abweichungen vom Tagesmittel sind fast in allen Fällen, bei kiesbedecktem Boden wie bei sandbedecktem, größer für die negativen Ionen als für die positiven, d. h. die Schwankungen sind stärker bei der leichter beweglichen Ionenart. Dies gilt sowohl für die Abweichungen im Laufe des Tages, also für die Tagesschwankung, als auch für die Abweichungen in der Gesamtzeit der Beobachtung, also für die Schwankung mit der Jahreszeit. Dies zeigt, daß die Beweglichkeit der Ionen ein maßgebender Faktor bei der Art und Weise ist, in der sie auf äußere Einwirkungen reagieren.

2. Die Abweichungen im Laufe der einzelnen Tage sind größer als die Abweichungen im Laufe eines Tages. Das würde sagen, daß wir bei der Bodenatmung mit einem Antworten auf tägliche periodische Einwirkungen der Luftdruckschwankungen von verhältnismäßig geringer Intensität und mit einem Antworten auf intensivere Schwankungen nach der allgemeinen Wetterlage zu rechnen haben.

Diese Fragen werden klarer beleuchtet, wenn wir versuchen, aus dem vorliegenden Material Tageskurven für beide Ionenarten zu konstruieren und sie zu vergleichen mit Tageskurven des Luftdruckes beziehungsweise der Luftdruckschwankung während der Beobachtungszeit.

6. Der tägliche Gang der Zerstreuung; Sommer- und Wintertypus.

Wie im vorhergehenden Abschnitt bereits angedeutet, sind die Abweichungen der Tageswerte vom Tagesmittel größer als die der Stundenmittelwerte. Darin liegt für die Bildung von Tageskurven die Forderung einer Trennung des Materials in Winter- und Sommerbeobachtungen. Das Ergebnis dieser Trennung rechtfertigt dies vollständig, wir erhalten für Sommer und Winter vollständig verschiedene Tageskurven für jede der beiden Ionenarten. Die Notwendigkeit einer Trennung in Sommer- und Winterwerte für alle luftelektrischen Größen zeigte sich auch bei anderen Messungsreihen; so in den ausgedehnten Beobachtungen, die Herr A. Daunderer in Bad Aibling angestellt hat[1]).

[1]) Vgl. A. Daunderer, Über die in den unteren Schichten der Atmosphäre vorhandene freie elektrische Raumladung. Dissertation, Techn. Hochschule, München 1908 und Phys. Zeitschr. **10**, 113—118, 1909.

I. Sommerbeobachtungen.

Fig. 21 gibt die Tageskurven für E_+, E_-, $Q = E_+ - E_-$ und $q = E_+ / E_-$, wenn wir wieder mit E_+ die in einer Stunde durch positive Ionen neutralisierte Elektrizitätsmenge, mit E_- die den negativen Ionen entsprechende Menge bezeichnen.

Im allgemeinen erkennt man sofort eine ausgesprochene doppelte tägliche Periode der vier Größen, E_+, E_-, Q, q. (Die Kurven für Q und q müssen selbstverständlich von ähnlicher Form werden, die Maximal- und Minimalstellen müssen an derselben Stelle liegen.)

Tageskurve der positiven Ionen.

Die Kurve für E_+ zeigt zunächst von Mitternacht an ein Schwanken um eine Horizontale mit einer endgültigen Abwärtsbewegung zwischen 3^{00}_a und 4^{00}_a. Von da fällt die Kurve bis zur tiefsten im Laufe des ganzen Tages vorkommenden Minimalstelle zwischen 6^{00}_a und 7^{00}_a. Dann beginnt ein ganz allmähliches Ansteigen bis zur Hauptmaximalstelle, 3^{00}_p bis 4^{00}_p. Nach einem Abfallen zum Abendminimum zwischen 6^{00}_p und 7^{00}_p erfolgt wieder das Schwanken um das Nachtmaximum, das morgens gegen 4^{00}_p einen letzten Höhepunkt erreicht.

Eine ausgleichende Kurve zeigt demnach 2 Maximalstellen und 2 Minimalstellen, je mit einem Zeitunterschied von 12 Stunden und zwar liegen

die Maximalstellen bei 3^{00}—4^{00}_a und 3^{00}—4^{00}_p,
„ Minimalstellen „ 6^{00}—7^{00}_a „ 6^{00}—7^{00}_p.

Je eine Maximal- und eine Minimalstelle liegen nur 3 Stunden auseinander, so daß sich also keine Sinuskurve als ausgleichende Kurve konstruieren läßt. Es erfolgt eben der Abstieg zur Minimalstelle rasch, in ca. 3 Stunden, der Anstieg zur Maximalstelle hingegen langsam, in ca. 9 Stunden. Die tiefste Stelle der Tageskurve, also das Minimum des Ionenaustritts aus dem Boden, liegt kurz nach Sonnenaufgang, die höchste Stelle etwas nach dem Zeitpunkt der maximalen Temperatur im Lauf des Tages. Auf die Bedeutung und die Ursachen dieser Eigentümlichkeiten gehen wir ein, wenn wir die übrigen Kurven betrachtet haben.

Tageskurve der negativen Ionen.

Ein Vergleich mit der Kurve für die positiven Ionen zeigt hier sofort die größere Amplitude der Schwankungen für diese leichter bewegliche Ionenart. Neben Übereinstimmungen konstatiert man auch sogleich wesentliche Unterschiede beider Kurven.

Für die negativen Ionen beginnt schon vor Mitternacht ein ständiges Sinken, das ohne Unterbrechung bis zur tiefsten im Laufe des Tages erreichten Stelle führt, der Minimalstelle zwischen 6^{00}_a und 7^{00}_a. Dann setzt ein rasches, sehr intensives Ansteigen ein zur Maximalstelle vormittags zwischen 11^{00}_a und 12 Uhr. Nachmittags ist ein geringes Sinken zu konstatieren zur schwachen Minimalstelle zwischen 4^{00}_p und 5^{00}_p. Hierauf erfolgt nochmals ein rasches Ansteigen zu einem Maximum zwischen 7 und 8 Uhr abends; von da ab ist schon wieder das langsame aber stetige Absinken über Mitternacht hinaus zum tiefen Morgenminimum zu konstatieren.

Die ausgleichende Kurve zeigt auch hier wieder 2 Hauptmaxima und 2 Hauptminima, diesmal jedoch nicht mit einem Zeitunterschied von je 12 Stunden.

Es liegen vielmehr

die Maxima bei 11^{00}_{a}—12^{00} und 7^{00}_{p}—8^{00}_{p},
„ Minima „ 6^{00}_{a}— 7^{00}_{a} „ 4^{00}_{p}—5^{00}_{p}.

Der Anstieg zu den Maximalstellen erfolgt rasch, der Abstieg zu den Minimalstellen langsam. (Auch der Abstieg zu der Minimalstelle nachmittags 4^{00}_{p} bis 5^{00}_{p} ist wohl als langsam zu bezeichnen; denn es handelt sich nur um ein geringes Sinken der Kurve innerhalb 4 bis 5 Stunden.)

Jedenfalls also zeigen die Tageskurven für beide Ionenurten wesentliche Unterschiede. Eine charakteristische Übereinstimmung findet sich eigentlich nur in der tiefsten Minimalstelle, die für beide Arten morgens zwischen 6^{00}_{a} und 7^{00}_{a} liegt, also kurz nach Sonnenaufgang; sonst liegen Maximal- und Minimalstellen zu verschiedenen Zeiten. Auffallend ist vor allem, daß für die positiven Ionen der Anstieg zu den Maximalstellen langsam, der Abfall zu den Minimalstellen schnell erfolgt, und daß die negativen Ionen das entgegengesetzte Verhalten zeigen.

Tageskurven für Q und q.

Die Eigentümlichkeiten dieser Kurven ergeben sich natürlich aus der Verschiedenheit der Kurven für E_{+} und E_{-}, zumal aus der verschiedenen Lage der Maximal- und Minimalstellen. 2 bzw. 3 Hauptmaximalstellen 4^{00}_{a}—5^{00}_{a}, 7^{00}_{a}—8^{00}_{a}, 3^{00}_{p}—4^{00}_{p} sind vorhanden und 2 bzw. 3 Hauptminimalstellen 5^{00}_{a}—6^{00}_{a}, 11^{00}_{a}—12^{00}_{Mt}, 7^{00}_{p}. Zu beachten ist, daß die Werte $E_{+}-E_{-}$ auch negativ, bzw. die E_{+}/E_{-} kleiner als 1 werden können, ein Umstand, der besonders bei der Betrachtung der Winterwerte von Interesse sein wird.

II. Winterbeobachtungen.

Fig. 22 gibt die Tageskurven der Winterbeobachtungen und zwar unter Benutzung sämtlicher registrierter Werte. Die Kurven sind im gleichen Maßstab gezeichnet wie in Fig. 21. Daß der absolute Wert der Ordinate um ca. 1 E. S. E. höher ist, kommt hier nicht in Betracht. Der Grund davon liegt darin, daß bei den Winterbeobachtungen der Boden mit der in Abschnitt B. 3 besprochenen Sandschicht versehen war, was eine Erhöhung der Zerstreuung von der Größe von etwas über 1 E. S. E. pro Stunde bewirkte. Durch gelegentlich eingestreute Beobachtungen ohne Sandschicht wurde gezeigt, daß die Winterwerte ohne diese steigernde Wirkung der neuen Abdeckung von gleicher Größe waren wie die Sommerwerte.

Ein Vergleich der beiden Kurven für E_{+} und E_{-} mit den entsprechenden Kurven der Sommerbeobachtung zeigt vor allem die viel größere Ruhe im Gang der Winterwerte. Einmal sind die Schwankungen der Absolutwerte von viel geringerer Amplitude als im Sommer. Für die Sommerwerte erhalten wir bei den positiven Ionen einen Minimalwert der Kurve von 89,3 % des Mittelwertes, einen Maximalwert von 117,7 %; dies entspricht einer Schwankung von 28,7 % des Mittelwertes.

Für die negativen Ionen werden die entsprechenden Zahlen für den Minimalwert 74,7 %, für den Maximalwert 123,4 %, für die Schwankung also: 49,7 %.

Durchaus anders liegen die Verhältnisse im Winter. Der Minimalwert der Kurve der positiven Ionen beträgt hier 95,5 % des Mittelwertes, der Maximalwert 104 %, die Schwankung also nur 8,1 %. Bei den negativen Ionen sind die entsprechenden Zahlen:

Minimalwert: 96,1 %,
Maximalwert: 105,0 %,
Schwankung: 8,9 %.

Während also im Sommer die mittlere Tagesschwankung der Ionenmengen 39,1 % des Stundenmittelwertes beträgt, macht sie im Winter nur noch 8,5 % aus. Wir können also sagen, daß im Sommer die mittlere Schwankung der Ionenmengen ca. das Fünffache der winterlichen Schwankung erreicht.

Zu beachten ist weiter, daß im Sommer die Schwankung der positiven Ionen zu der der negativen Ionen sich verhält wie 28,4 : 49,7, also wie 1,0 : 1,7; im Winter dagegen verhält sich die Schwankung der schwerer beweglichen Ionenart zu der der leichter beweglichen wie 1,0 : 1,1.

Dies kann einen Anhalt zur Deutung dieser Verhältnisse geben.

Die größere Ruhe im täglichen Gang im Winter macht sich jedoch nicht allein in der Intensität der Schwankung, sondern sogar in der Zahl der täglichen Hebungen und Senkungen bemerkbar.

Die Sommerkurven zeigen ohne weiteres eine ausgesprochene doppelte Periode mit zwei Hauptmaximalstellen und zwei Hauptminimalstellen für beide Ionenarten. Die Winterkurven zeigen eine einfache tägliche Periode, also mit einem ausgesprochenen Minimum und einem Maximum für beide Ionenarten. Bei genauerem Vergleich der Sommer- und Winterkurven sieht man jedoch die Ähnlichkeit in der Lage der charakteristischen Stellen, vor allem bei den Winterkurven die Ansätze zu den weiteren nur im Sommer stärker ausgebildeten Abweichungen.

Tageskurve der positiven Ionen.

Die Tageskurve zeigt im Winter wieder wie im Sommer von Mitternacht an ein Schwanken um eine Horizontale bis gegen 4^{00}_{a}, dann ein Absinken zum Minimum zwischen 6^{00}_{a} und 7^{00}_{a}. Während hier im Sommer eine definitive Umkehr stattfindet, geht nun die Kurve nach einem auch im Sommer zu konstatierenden kurzen Anstieg weiter langsam abwärts bis zwischen 10^{00}_{a} und 11^{00}_{a}. Von da an steigt sie zum Nachmittagsmaximum zwischen 2^{00}_{p} und 4^{00}_{p}. Während sich im Sommer dies Maximum zu einem 2. Minimum absenkt, bleibt im Winter das Maximum durch mehrere Stunden nahezu konstant, um sich dann langsam gegen Mitternacht hin zu verflachen. Angedeutet ist hier noch einmal ein geringes Minimum gegen 10^{00}_{p}, was jedoch wiederum nur dadurch auffällt, daß es in der Sommerkurve deutlicher ausgeprägt ist.

Wir sehen also, daß die einfache tägliche Periode je eine nicht sonderlich scharf ausgeprägte Minimalstelle und Maximalstelle hat. Das Minimum liegt zwischen 9^{00}_{a} und 11^{00}_{a}, das Maximum zwischen 2^{00}_{p} und 5^{00}_{p}. Die im Sommer vorhandene Hauptminimalstelle, 6^{00}_{a} bis 7^{00}_{a}, ist auch hier angedeutet; bei der Kurve der „lückenlosen Tage“ liegt der absolut tiefste Tagespunkt auch tatsächlich an dieser Stelle (vgl. Fig. 23, Kurve C).

Tageskurve der negativen Ionen.

Wie im Sommer konstatiert man auch im Winter ein bereits vor Mitternacht beginnendes langsames Absinken zum Morgenminimum, das zeitlich allenfalls ein wenig später liegt als im Sommer, nämlich um 7^{00}_{a}. Im Gegensatz zum Sommer verläuft dieser Abstieg ebenso wie der um 7 Uhr beginnende Anstieg zur Hauptmaximalstelle sehr langsam und stetig. Während im Sommer ein erstes Maximum bereits zwischen 11^{00}_{a} und 12 Uhr erreicht ist, und während da nach einem nachmittäglichen Minimum noch ein Abendmaximum folgt, wird im Winter das Haupt-Tagemaximum erst zwischen 2^{00}_{p} und 3^{00}_{p} erreicht. Es verläuft dann bereits langsam absinkend über Mitternacht hinaus zum Morgenminimum. In der Kurve der lückenlosen Tage (vgl. Fig. 24, Kurve C) ist wieder das im Sommer deutlicher vorhandene Abendmaximum zwischen 7^{00}_{p} und 8^{00}_{p} angedeutet.

Eine Übereinstimmung mit den Sommerkurven ist auch darin zu erblicken, daß der Anstieg von der Minimalstelle zur Maximalstelle rascher erfolgt als der Abstieg zur Minimalstelle. Es liegt das Minimum bei 7^{00}_{a},
das Maximum bei $2^{00}_{p} - 3^{00}_{p}$.

Tageskurven für Q und q.

Wenn man hier überhaupt noch von einer Periode reden will, so wird man dem täglichen Gang auch hier eine *einfache* Periode zuschreiben mit einer Maximalstelle zwischen 4^{00}_{a} und 5^{00}_{a} und einer Minimalstelle zwischen 12^{00}_{Mt} und 1^{00}_{p}. Diese beiden Stellen fallen ungefähr zusammen mit Maximal- und Minimalstellen der entsprechenden Sommerkurven; im Sommer ist freilich mit einer deutlicher ausgeprägten doppelten Periode zu rechnen.

Gerade diese Kurven zeigen weiter auch den wesentlichen Unterschied zwischen dem Sommer- und dem Wintertypus: die weit größere Ruhe im täglichen Gang im Winter. Die größere Übereinstimmung der Kurven für E_+ und E_- ist vor allem darin ausgedrückt, daß im Winter Q während des *ganzen* Tages positiv bzw. q größer als 1 ist. Im Sommer nimmt Q abwechselnd positive und negative Werte an. Im Winter tritt also im Laufe des *ganzen Tages ein Überschuß von positiven Ionen in die Atmosphäre über.* Etwas modifizierend wirkt wohl bei unserer Versuchsanordnung der Umstand, daß bei den Winterregistrierungen die oben besprochene Sandschicht wirksam war.

Es soll nun zunächst noch der Zusammenhang zwischen diesen Tageskurven und dem Luftdruck betrachtet werden.

7. Vergleich mit den Barometerständen und Barometergängen.

Ein Zusammenhang zwischen den dem Erdboden entströmenden Ionenmengen und den Barometerständen und -gängen ist zu erwarten und zwar in dem Sinn, daß bei hohem Luftdruck geringe Mengen von Ionen und ionenbildenden Emanationen die Erdkapillaren verlassen, bei geringem Luftdruck größere Mengen. Indessen ist die tatsächlich bestehende Gesetzmäßigkeit nicht einfach. Der Grund liegt darin, daß nicht der Luftdruck selber maßgebend zu sein braucht, sondern eher die *Änderung* des Luftdrucks, also sein *Gang.* Und da wir weiter die Änderung in den Ionenmengen als eine *Folge* der Änderung des

Luftdrucks aufzufassen haben, so haben wir auch nicht ein zeitliches Zusammenfallen der einzelnen reziproken Phasen zu erwarten, sondern eine Phasenverschiebung, die abhängig ist einmal von der Geschwindigkeit, mit der die Ionenmengen auf die Luftdruckänderungen zu antworten vermögen, zweitens von der Tiefe der Erdschicht, aus der die Ionen bis zur Erdoberfläche gelangen[1]). Die Existenz einer solchen Phasenverschiebung zeigt sich schon aus folgender Zusammenstellung: Das gesamte Beobachtungsmaterial wurde geordnet nach dem Gang des Luftdrucks in der Beobachtungszeit, also nach steigendem, horizontal gehendem, fallendem Barometerstand. Es ergaben sich folgende Stundenmittelwerte:

a) Sommerbeobachtungen:

1. Positive Ionen:

Bei steigendem Luftdruck: 1,772 E. S. E.
„ horizontal gehendem „ : 1,734 E. S. E.
„ fallendem „ : 1,746 E. S. E.

2. Negative Ionen:

Bei steigendem Luftdruck: 1,661 E. S. E.
„ horizontal gehendem „ : 1,630 E. S. E.
„ fallendem „ : 1,584 E. S. E.

b) Winterbeobachtungen:

1. Positive Ionen:

Bei steigendem Luftdruck: 2,752 E. S. E.
„ horizontal gehendem „ : 2,717 E. S. E.
„ fallendem „ : 2,597 E. S. E.

2. Negative Ionen:

Bei steigendem Luftdruck: 2,490 E. S. E.
„ horizontal gehendem „ : 2,484 E. S. E.
„ fallendem „ : 2,473 E. S. E.

Die höheren Werte findet man also beim Mittelbilden bei steigendem Luftdruck, die geringeren bei fallendem; zwischen beiden liegen die Werte, bei denen der Luftdruck konstant war. Übt also fallender Luftdruck eine saugende Wirkung auf die Ionen und Emanationen im Erdboden aus, so müssen diese doch nur mit einer gewissen Trägheit auf diese Einwirkung von außen zu antworten vermögen. Andernfalls müßte eine in obiger Weise vorgenommene Mittelbildung die Zahlen gerade in umgekehrter Reihenfolge liefern. Die Größe der Phasenverschiebung erkennt man aus Fig. 23 und Fig. 24, die den Zusammenhang zwischen Luftdruck und registrierten Ionenmengen anzeigen. Für lückenlose Beobachtungstage ist aus den Luftdruckregistrierungen eine durchschnittliche Tageskurve durch Mittelbildung gewonnen. Kurve A in Fig. 23 gibt diese Kurve für die Tage, an denen positive Ionenmengen, Kurve A in Fig. 24 für die Tage, an denen die negativen Ionen registriert worden waren. (Es handelt sich hier um die Registrierung der Winterwerte. Wir geben hier diese Werte als Beispiel, weil bei den komplizierteren Kurven, die die Sommerwerte charakterisieren, die Punkte, auf die es uns hier ankommt, weniger

[1]) Vgl. auch H. Mache, Wiener Ber. Mathem.-naturw. Klasse **114**, Abt. IIa, 1377—1388, 1905.

klar hervortreten.) Von Kurve B sei zunächst abgesehen. Kurve C in beiden Figuren, in geeignetem Maßstab gezeichnet, zeigt den täglichen Gang der registrierten Ionenmengen. Kurve A gibt also die Luftdruckhöhe an den einzelnen Tagesstunden, Kurve C die gleichzeitig gemessene Ionenmenge. Man erkennt sofort, daß ein ursächlicher Zusammenhang zwischen Luftdruckhöhe und Ionenmenge nicht ersichtlich ist. Es entspricht wohl im allgemeinen hohem Luftdruck eine geringe Ionenzahl, niederem Luftdruck eine große Ionenzahl, aber die entsprechenden Maximal- und Minimalstellen fallen zeitlich nicht zusammen. Auch eine zeitliche Verschiebung würde uns hier nicht den gesuchten ursächlichen Zusammenhang zeigen können, denn die Maximal- und Minimalstellen des Luftdrucks liegen zeitlich später als die entsprechenden Minimal- und Maximalstellen der Ionenmengen. Diese Zeitdifferenz ist andererseits so gering, daß man zu einer Verschiebung von ca. 23 Stunden käme, wollte man die Kurven so zu einander stellen, daß sie wie Ursache und Wirkung einander zugeordnet erscheinen.

Anders liegen die Verhältnisse, wenn man von der Annahme ausgeht, daß die Ionenmengen nicht von der Höhe des Luftdrucks abhängig sind, sondern von der Änderung des Luftdrucks mit der Zeit, von der Luftdruckschwankung. Die Kurven A sind zu differentiieren und dann erst mit den Kurven C zu vergleichen. Die Kurven B sind das Ergebnis einer graphischen Differentiation der Kurven A; die Ordinaten sind in willkürlicher Größe gewählt. Wir sehen zweierlei, wenn wir z. B. Fig. 24 ins Auge fassen.

1. Die Kurve der Ionenmengen ist das Spiegelbild der Kurve für die Luftdruckschwankung. Der Maximalstelle der Ionenkurve entspricht eine Minimalstelle der Luftdruckschwankung, der Minimalstelle der Ionenkurve eine Maximalstelle. Eine kleine Schwierigkeit in der Betrachtung liegt darin, daß wir im Winter für die Ionenmengen im wesentlichen eine einfache tägliche Periode haben, die für die im Sommer vorhandene doppelte Periode charakteristischen weiteren Maximal- und Minimalstellen sind nur eben angedeutet. Für die Luftdruckhöhe und damit auch für die Luftdruckschwankung haben wir dagegen eine ausgesprochene doppelte Periode vor uns. Doch entspricht dem Hauptmaximum der Ionenmengen das tiefste Minimum der Luftdruckschwankung.

2. Zwischen den einander entsprechenden Maximal- und Minimalstellen beider Kurven besteht eine zeitliche Differenz, nun aber in dem Sinn, daß ein ursächlicher Zusammenhang zwischen Luftdruckschwankung und Ionenmenge ersichtlich ist: Das Maximum der Ionenmengen folgt dem Minimum der Kurve der Luftdruckschwankung, das Minimum der Ionenmengen folgt dem Maximum der Kurve der Luftdruckschwankung. Eine zeitliche Verschiebung der einen Kurve gegen die andere um ca. $1^1/_2$ Stunden würde die beste Übereinstimmung der Maximal- und Minimalstellen der Ionenkurve mit den entsprechenden Minimal- und Maximalstellen der Kurve der Luftdruckschwankung herbeiführen. Dann entspricht stets ein Steigen der einen Kurve einem Fallen der anderen. Wir können also sagen: Die im Erdboden enthaltenen Emanations- und Ionenmengen vermögen auf Änderungen der Luftdruckschwankung innerhalb einer Zeit von ca. $1^1/_2$ Stunden zu reagieren.[1])

---

[1]) Vgl. auch die Arbeiten von G. Lüdeling, Physikal. Zeitschrift **5**, S. 447, 1904; H. Mache, Wiener Ber. Mathem.-naturw. Klasse **114**, Abt. IIa, S. 1377, 1905, und die bei Lüdeling und Mache gegebenen Tageskurven; vgl. weiter Gockel, Luftelektrizität S. 43.

Beachtenswert erscheint auch hier wieder ein Unterschied in den beiden Ionenarten. Für die schwerer beweglichen positiven Ionen ist die Übereinstimmung zwischen Ionenkurve und Luftdruckkurve nicht so scharf ausgeprägt wie für die negativen Ionen, die leichter bewegliche Ionenart. Die Übereinstimmung bzw. die Reziprozität der Kurven ist für beide Ionenarten vorhanden, doch ist das Bild für die leichter beweglichen negativen Ionen klarer und in Einzelheiten besser übereinstimmend.

8. Vergleich mit anderen meteorologischen Elementen; Einfluss von Sonnenauf- und -untergang.

Die Ausführungen im vorausgehenden Abschnitt 7 haben einen gewissen Zusammenhang zwischen den dem Erdboden entquellenden Ionenmengen und dem Luftdruckgange gezeigt. Damit ist einerseits bereits im wesentlichen eine Deutung der in Abschnitt 6 besprochenen Tageskurven und ihrer Eigentümlichkeiten gegeben. Andererseits sieht man daraus, daß alle meteorologischen und sonstigen Elemente, die den Luftdruckgang beeinflussen, damit auch indirekt eine Wirkung auf das Aufsteigen der Ionen ausüben müssen.

Die Lage des Morgenminimums zwischen 6^{00}_{a} und 7^{00}_{a} im Sommer und die Verschiebung dieser Stelle in den Tag hinein bei den Winterbeobachtungen, auch das Verflachen der Minimalstelle im Winter hängt offenbar mit dem Aufgang der Sonne zusammen. Die durch die Insolation des Bodens nach Sonnenaufgang bewirkte Auflockerung der untersten Luftschichten und damit die Erzeugung einer aufwärts gerichteten Luftbewegung übt eine saugende Wirkung auf die Bodenluft aus. Das Ansteigen der Ionen beginnt, und zwar vermögen die leichter beweglichen negativen Ionen dieser saugenden Wirkung rascher zu folgen als die trägeren positiven Ionen. Daraus resultiert das rasche Ansteigen der Tageskurve vom Morgenminimum an für die negativen Ionen, ein langsameres Ansteigen für die positiven Ionen.

Ist der Höhepunkt erreicht, so tritt für beide Ionenarten ebenfalls wegen ihrer verschiedenen Beweglichkeit das entgegengesetzte Verhalten als beim Anstieg der Kurve ein. Die saugende Wirkung der aufwärts steigenden Luftströmungen hat aufgehört. Damit läßt ziemlich rasch auch das Aufsteigen der schwerer beweglichen positiven Ionen nach, während für die leichter beweglichen negativen Ionen das Nachdringen entsprechender Mengen erst langsamer aufhört. Daraus resultiert nach dem Überschreiten eines Maximalpunktes für die positiven Ionen ein rascher Abfall zur Minimalstelle, für die negativen Ionen ein langsamerer Übergang vom Maximum zum Minimum. Die in Abschnitt 6 besprochenen Eigentümlichkeiten der Tageskurven (vgl. Fig. 21—24) bestätigen dies vollkommen. Auch die Lage des Maximums der Ionenmengen einige Zeit nach Erreichung des höchsten Sonnenstandes im Laufe des Tages, das Verhalten der Kurven gegen Abend bei und nach Sonnenuntergang und vor allem die verschiedene Kurvenform im Sommer und Winter finden damit ihre Deutung.

9. Leitfähigkeitsbestimmungen und ihre Beziehung zu den Zerstreuungsmessungen.

Wie schon oben erwähnt, wurden auch eine Reihe von Registrierungen bei so niederen Spannungen (10 bzw. 8 Volt) vorgenommen, daß in dem Felde zwischen den Platten und dem Erdboden kein Sättigungsstrom mehr zu Stande kommen konnte, sondern der

Strom die Form der „freien Strömung" annahm. Bestimmungen des Elektrizitätsausgleiches bei den diesen Ladungen entsprechenden Gefällen von 2 bzw. 1,6 Volt/cm hatten zunächst insofern Interesse, als dabei Strömungen zu Stande kommen mußten, wie sie auch an der Erdoberfläche in der Form des sog. „normalen Ionenstromes" tatsächlich bestehen, denn die entsprechenden Gefälle von 200 bzw. 160 Volt/m stellen Mittelwerte des Potentialgefälles in unmittelbarer Nähe des Erdbodens in der freien Atmosphäre für unsere Klimate dar. Hier hat man „Leitfähigkeiten" λ bestimmt von der Größenordnung 10^{-4} el. stat. Einh. für ein Gefälle von 1 el. stat. Spannungseinheit pro cm Länge des Ionenweges. Es war wichtig zu sehen, ob man bei unseren Registrierungen auf eine ähnliche Größenordnung geführt wird, wenn man abweichend von der bei den Zerstreuungsmessungen gewählten Form des Sättigungsstroms zu jener Form überging, welche dem natürlichen Ionenausgleiche an der Erdoberfläche entspricht.

Diese gelegentlichen Leitfähigkeitsbestimmungen hatten im gegenwärtigen Zusammenhange aber noch eine andere Bedeutung:

Bei den Zerstreuungsmessungen hatte sich gezeigt, daß die Luft bereits mit einem Überschusse an positiven Ionen aus den Erdkapillaren austritt. Diese Tatsache mußte sich auf indirektem Wege bestätigen lassen auf grund der folgenden Überlegung:

Nach der Ionentheorie setzt sich die Leitfähigkeit für die positiven Ionen in der Weise zusammen, daß

$$\lambda_{+} = v_{+} \cdot n_{+} \cdot \varepsilon \quad \text{ist;}$$

für die negativen Ionen ist

$$\lambda_{-} = v_{-} \cdot n_{-} \cdot \varepsilon;$$

die Gesamtleitfähigkeit ist dann:

$$\lambda = \lambda_{+} + \lambda_{-} = \varepsilon \, (v_{+} \cdot n_{+} + v_{-} \cdot n_{-})$$

wenn n_{+}, n_{-} die Zahlen der positiven bzw. negativen Ionen im cm^3, v_{+}, v_{-} ihre spezifischen Wanderungsgeschwindigkeiten bedeuten und ε die Ionenladung in E. S. E. ist. Die Zerstreuungsmessungen haben einen Überschuß an + Ionen geliefert in solcher Größe, daß das Verhältnis der Zahl der positiven Ionen zu der der negativen sich verhält wie $1{,}07 : 1{,}00 = n_{+} : n_{-}$. Dies Verhältnis wurde durch eine dünne Sandschicht gesteigert auf 1,11 : 1,00. Das Verhältnis der Wanderungsgeschwindigkeiten der Gasionen schwankt innerhalb weiter Grenzen, namentlich im Zusammenhange der Schwankungen im Feuchtigkeitsgehalte der Gase. In der Atmosphäre ist $v_{-} : v_{+} = 1{,}1 : 1{,}0$ ein Mittelwert, wie er in feuchter Luft gefunden wird.

Das Verhältnis der gefundenen Ionenzahlen ist also reziprok dem wahrscheinlichen Verhältnisse der Wanderungsgeschwindigkeiten unter unseren Versuchsbedingungen. Eine Bestätigung des oben genannten Resultates $n_{+} > n_{-}$ kann daher in diesen Versuchen erblickt werden, wenn sich zeigt, daß $\lambda_{+} = \lambda_{-}$ ist.

Diese Frage wurde in doppelter Weise in Angriff genommen: Zunächst wurde „differentiell" geschaltet. Die Quadrantenpaare und damit die beiden Zerstreuungskörper (Platten) werden mit den beiden Polen einer kleinen Bornhäuser Batterie verbunden, deren Mitte an Erde liegt. Die Batterie hat 20 Volt, die eine Platte wird also auf + 10 Volt, die andere auf — 10 Volt geladen, so daß das Spannungsgefälle zwischen Platten und Erde

2 Volt/cm beträgt. Die Nadel des Elektrometers ist dauernd geerdet; ein Abweichen des Lichtzeigers von der Horizontalen auf dem Registrierstreifen bedeutet also ein rascheres Entladen des einen Zerstreuungskörpers. Durch eine Wippe kann umgeladen werden zum Ausgleich von Unsymmetrieen und zum Erkennen von etwaigen geringen Isolationsmängeln.

Da es auf den Strom zwischen Platte und Erde ankommt, so ist zu jeder Tagesaufnahme eine Isolationsprobe bei abgenommenen Platten vorzunehmen. Bei diesen Isolationsbestimmungen zeigte sich durchweg bis auf wenige Ausnahmen (3) ein schnelleres Entladen des negativ geladenen Teiles. Das Resultat war zu erwarten; denn in den wesentlichen Teilen der nach Abnahme der Platten verbleibenden Anordnung, Elektrometer nebst den Zuleitungen, herrscht jedenfalls kein freier Strom, sondern wahrscheinlich unvollständig gesättigter Strom, vielleicht selbst Sättigungsstrom; denn einzelne entgegengesetzt geladene Teile und geladene und geerdete Teile stehen einander sehr nahe gegenüber. Die Ionengeschwindigkeit mit ihrer ausgleichenden Wirkung tritt zurück, und es macht sich der Überschuß der positiven Ionen in der Atmosphäre bemerkbar. Nach Ansetzen der Platten änderte sich das Bild vollkommen. Die Abweichungen des Lichtzeigers von der Horizontalen sind nun so gering, daß ein Auswerten der entstehenden Kurven nicht möglich ist. In einer Reihe von Fällen ist eine Abweichung überhaupt nicht zu konstatieren, bei den übrigen Beobachtungen ist bald der Ansatz zu einer Abweichung nach links, bald nach rechts zu bemerken, d. h. ein geringes rascheres Entladen bald der positiv, bald der negativ geladenen Platte.

Es ist nun zunächst die durch Isolationsproben festgestellte Abweichung der Nadel bei abgenommenen Platten zu berücksichtigen. Die Ordinatenhöhe der entstandenen Kurven wurde durch das Verhältnis der Kapazitäten der Apparatur mit und ohne Platten geteilt. Diese Korrektion wurde dann von der Ordinatenhöhe der eventuell erhaltenen Kurven der eigentlichen Untersuchungen mit Platten in Abzug gebracht.

Als Resultat von 34 in dieser Weise durchgeführten Beobachtungsreihen erhalten wir:

6 Reihen, bei denen kein Unterschied im Entladen der positiv und der negativ geladenen Seite zu konstatieren ist,

14, bei denen anscheinend die positiv geladene Platte etwas schneller entladen wird,

14, bei denen anscheinend die negativ geladene Platte etwas schneller entladen wird.

Es ist also kein wirklicher Unterschied zu konstatieren in der Entladegeschwindigkeit der positiv geladenen und der negativ geladenen Platte. Die Schwankungen (denn als solche sind die Abweichungen von der Normallage anzusprechen) verteilen sich gleichmäßig auf beide Arten von Ladungen.

Zwei in unmittelbarer Nähe des Erdbodens aufgestellte, entgegengesetzt geladene Platten, in die „freier Strom“ fließt, entladen sich gleichschnell: Die Leitfähigkeit der Atmosphäre in unmittelbarer Nähe des Erdbodens ist für beide Elektrizitätsarten gleich groß.

Zu ähnlichen Resultaten sind auch andere Beobachter gelangt. K. Kurz[1]) wies nach, daß die bei dem Gerdienschen Apparate durchweg erhaltenen sehr ausgeprägten Unipolaritäten nur scheinbare sind, welche zum größten Teile dadurch bedingt sind, daß sich auf der negativ geladenen Elektrode die festen radioaktiven Zerfallsprodukte aus der durch-

---

[1]) K. Kurz, Phys. Zeitschr. 7, 771, 1906 und Dissertation, Gießen 1907.

gesaugten Luft absetzen, ein Umstand, der eine Vergrößerung des zu messenden Effektes bewirkt, die sich bei den gewählten Apparatdimensionen im obigen Sinne nur dann bemerkbar macht, wenn die Innenelektrode negativ, nicht dagegen, wenn sie positiv geladen ist.

Dieses Resultat dürfte für die Erkenntnis der luftelektrischen Strömungserscheinungen nicht unwichtig sein.

Zur Kontrolle wurden noch Registrierungen nach folgendem Schema durchgeführt: Die Nadel und das eine Quadrantenpaar werden dauernd geerdet; das zweite Quadrantenpaar und die an dasselbe angeschlossene Platte können abwechselnd positiv und negativ geladen werden. Beobachtet wird der Ladungsverlust der während einiger Minuten mit der Spannungsquelle verbundenen, dann aber wieder isoliert stehenden Platte. Als Spannungen werden abwechselnd + 8 und — 8 Volt verwendet, als Spannungsgefälle also 1,6 Volt/cm. Auch hier ist natürlich wieder „mit" und „ohne" Platte zu arbeiten, da der Strom ermittelt werden soll, welcher in den Zerstreuungskörper hineingeht.

Durch besondere Untersuchungen wurde festgestellt, daß bei so niedrig gewählten Gefällen in der Tat „freier Strom" in der Anordnung herrscht. Von Millimeter zu Millimeter (also Zeitintervallen von 6 Minuten entsprechend) wurden die Kurvenordinaten mit dem Glasmaßstabe ausgemessen und mittels der (für diesen Fall der Schaltung natürlich von der Kurve Fig. 7 abweichenden und besonders ermittelten) Eichkurve in Volt umgerechnet und hieraus zunächst der minutliche Voltverlust (der „Strom") als Funktion der mittleren, auf der Platte noch vorhandenen Spannungen ermittelt. Die hierbei erhaltenen „Stromcharakteristiken" zeigen zwar keine große Regelmäßigkeit, und zwar wegen der unvermeidlichen und hierbei stark ins Gewicht fallenden Messungsfehler, lassen aber doch die Gültigkeit des Coulombschen Zerstreuungsgesetzes (vgl. oben S. 4 ff.) erkennen. Mit Rücksicht auf die Kapazität und die erwähnte Korrektion wegen der Isolationsmängel ergeben sich als sekundliche Elektrizitätsverluste für das Gefälle von 1,6 Volt/cm

bei positiver Ladung:

$$3{,}45 \cdot 10^{-4} \text{ E. S. E.},$$

bei negativer Ladung:

$$3{,}47 \cdot 10^{-4} \text{ E. S. E.},$$

also in der Tat wiederum die gleichen Werte.

Aus den angegebenen Zahlenwerten würde für die gesamte Leitfähigkeit des die Platte umgebenden Ionisationsraumes folgen:

$$\Lambda = 6{,}92 \cdot 10^{-4} / \frac{1{,}6}{300}$$

oder

$$\Lambda = 13{,}0 \cdot 10^{-2}.$$

Hätte man zwischen der Platte und der die Ionen liefernden Bodenschicht eine homogene Verteilung der Stromröhren, so könnte man aus Λ direkt auf die auf die Einheit (cm^2) des Querschnittes sich beziehende Größe λ schließen. Dies ist nicht genau der Fall, da das Feld inhomogen ist und die Flächendichte an den Rändern der Platten größer ist als in der Mitte[1]). Dividiert man also durch die den Strom aufnehmende Plattengröße

[1]) Indessen zeigte die Ausmessung des Feldes (vgl. oben unter A, 3, c S. 24), daß die Abweichungen gering sind.

($20 \times 30 = 600$ cm²), so wird man nur einen mittleren Wert für λ erhalten, der aber wie man sieht, in die Größenordnung der sonst gemessenen Werte hineinfällt.

Auf den Absolutwert der hier gefundenen Leitfähigkeit legen wir natürlich kein besonderes Gewicht, immerhin ist es bemerkenswert, daß so dicht am Boden ein Wert von derselben Größenordnung gefunden wird, wie er nach anderen Methoden im freien Luftraume konstatiert wurde. Vor allem geht aus diesen Messungen der prinzipielle Unterschied zwischen „Leitfähigkeitsbestimmungen" und „Zerstreuungsmessungen" hervor.

Auch sonst wurde ja erkannt, daß die Unipolarität in den Leitfähigkeitsbestimmungen nur eine scheinbare, durch die Apparate vorgetäuschte ist[1]). Für uns ist es wichtig, daß die aus $\lambda_+ = \lambda_-$ wiederum hervorgehende Unipolarität in der Ionenführung $\overset{+}{n} > \overset{-}{n}$ dagegen tatsächlich eine reale Bedeutung besitzt.

Zusammenfassung.

1. Unter genau definierten Bedingungen wurden an der Trennungsschicht zwischen Erdboden und Luftmeer zahlreiche Registrierungen der luftelektrischen Zerstreuung vorgenommen, wobei die Apparatanordnung eine einwandfreie Umrechnung auf absolutes Maß gestattete.

2. Durch gelegentlichen luftdichten Abschluß der verwendeten Bodenöffnungen wurde nachgewiesen, daß an der registrierten Zerstreuung aus dem Erdboden dringende Emanationen, ihre Zerfallsprodukte und Ionen einen wesentlichen Anteil haben.

3. Durch gelegentliches Übersanden der Bodenöffnungen wurde der Nachweis erbracht, daß die Beschaffenheit der obersten Schichten des Erdbodens nicht nur den Gesamtbetrag der am Erdboden überhaupt zu erhaltenden Zerstreuungswerte wesentlich bedingt, sondern vor allem auch das Verhältnis von positiver und negativer Zerstreuung wesentlich zu verschieben vermag, daß also tatsächlich bei der Erhaltung des normalen Überschusses an freier positiver Ladung in den untersten Schichten der Atmosphäre ein Prozeß mitbeteiligt ist, den man nicht unpassend als **„Bodenatmung"** bezeichnen kann.

4. Die in der Bodenluft selbst wirksamen Agentien vermögen bei uns im Mittel ca. 330 Ionen pro cm³ und sec. zu bilden.

5. Als Mittelwert der Zerstreuungen ergeben sich am Beobachtungsorte im Sommer folgende Werte:

Zerstreuung durch die **positiven** Ionen:

2,09 E. S. E. pro Stunde,

bei einer Bodenfläche von 30×40 cm² und einer Größe der Zerstreuungsplatte von 20×30 cm²,

---

[1]) Vgl. K. Kurz, l. c.

Zerstreuung durch die **negativen** Ionen:

1,96 E. S. E.

Im Winter werden Zahlen von ungefähr gleicher Größe gefunden.

Der Überschuß an positiven Ionen beim Austritt der Ionen und der Ionen erzeugenden Agentien aus dem Boden beträgt rund 1 E. S. E. pro qm und Stunde. Dieser Betrag ließ sich durch eine Sandschicht von 2 cm Dicke auf etwa 2,5 E. S. E. pro qm und Stunde steigern.

6. Die Zerstreuungswerte zeigen einen deutlich ausgesprochenen **täglichen Gang**, bei dem ein „**Sommertypus**“ von dem „**Wintertypus**“ zu unterscheiden ist. Die Tageskurven für beide Ionenarten zeigen neben Übereinstimmungen auch wesentliche Unterschiede, die sich aus der verschiedenen **Beweglichkeit** der beiden Ionenarten erklären lassen.

7. Ein Vergleich mit dem Gange des Luftdruckes zeigt, daß ein ursächlicher Zusammenhang zwischen Ionenmenge und Luftdruck**höhe** nicht zu konstatieren ist. Dagegen verhalten sich die Tageskurven der Ionen und der Luftdruck**schwankungen** wie Bild und Spiegelbild. Es besteht bei uns eine Phasenverschiebung von ca. $1^1/_2$ Stunden in dem Sinn, daß die Luftdruck**schwankung** vorausgeht und als Ursache der Ionenschwankung anzusehen ist.

8. Ein Vergleich mit anderen meteorologischen Elementen zeigt daher auch, daß Faktoren, die für die Luftdruckschwankungen mitbestimmend sind, damit mittelbar auch die Ionenschwankungen beeinflussen.

9. Registrierungen der Leitfähigkeit zeigen gleiche Leitfähigkeit für beide Vorzeichen; eine Unipolarität findet hierbei nicht statt. Wegen der Verschiedenheit der spezifischen Wanderungsgeschwindigkeiten folgt aber hieraus wiederum die tatsächliche Unipolarität in der Ionendichte selbst und zwar in einem Verhältnisse, wie es die Zerstreuungsmessungen direkt ergeben haben. —

Die vorliegende Untersuchung wurde mit Unterstützung der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften zu München aus den Mitteln des von der Königlichen Staatsregierung und den beiden Kammern des Landes für die wissenschaftlichen Forschungen des Kartells der Deutschen Akademien bewilligten Fonds durchgeführt.

München, Physikalisches Institut der Technischen Hochschule, im Juli 1909.

Tabellen

der registrierten Zerstreuungswerte,

geordnet nach Sommer- und Wintertypus, Tagen und Stunden.

Tab. 1. **Erste Registrier**

a) Zerstreuung durch die positiven

Nummer des Streifens	Datum	Ionen-art	Mn. 12—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10	10—11	Mt. 11—12
9	23. IV.	+												3,51
9, 10	24. IV.	+	2,03	1,81	1,72	1,85	1,97	1,78	1,72	1,65	1,78	2,24	2,88	3,27
10	25. IV.	+	2,09	1,81	1,76	1,52	1,52	1,45	1,41	1,48	1,69	2,00	2,61	3,03
11	27. IV.	+									1,48	1,59	1,62	1,52
11, 12	28. IV.	+	1,37	1,34	1,37	1,48	1,56	1,56	1,59	1,62	1,62	2,09	2,09	2,06
12	29. IV.	+	über 4,72	über 4,72	über 4,72	über 4,72	über 4,72	über 4,72	über 4,72	4,55	3,39	2,35		
14	30. IV.	+												
14, 15	1. V.	+	1,69	1,65	1,59	1,78	1,69	1,48	1,23	1,20	1,45	1,85	2,09	2,19
15, 17	2. V.	+	3,72	3,55	3,65	3,58	3,53	3,21	3,21	3,44	3,27	3,00	2,91	2,96
17, 18	3. V.	+	3,03	3,37	3,72	3,39	3,00	2,77	2,45	2,29	2,33	2,45	2,58	2,77
18	4. V.	+	3,94	3,18	2,91	2,64	2,64	2,77	2,50	2,13	2,64			2,40
19	5. V.	+												1,90
19, 20	6. V.	+	2,55	2,80	2,93	3,00	2,93	2,61	2,26	1,90	1,72	1,65	1,41	1,30
20, 21	7. V.	+	1,81	1,85	1,81	1,78	1,78	1,76	1,56	1,52	1,56	1,72	1,76	1,81
21, 22	8. V.	+	1,37	1,30	1,27	1,27	1,30	1,27	1,52	1,90	2,26	2,45		2,09
22	9. V.	+	1,69	1,81	1,97	1,88	1,78	1,62	1,34	1,62	1,94	1,90	2,03	
56	24. VI.	+												1,62
56, 57	25. VI.	+	1,56	1,52	1,65	2,01	2,01	1,87	1,87	1,62	1,56	1,59	1,59	1,76
57, 58	26. VI.	+	1,76	1,72	1,76	1,84	1,84	1,52	1,41	1,59	1,59	1,65	1,65	1,62
58, 59	27. VI.	+	1,69	1,81	1,72	1,85	1,68	1,37	1,45	1,80	1,80	1,90	2,01	2,01
59	28. VI.	+	2,09	1,76	1,76	1,72	1,97	1,97	1,45	1,85				
60	29. VI.	+										1,52	1,48	1,45
60	30. VI.	+	2,55	3,38	2,50	2,29	über 4,09	über 4,09	über 4,09	über 4,09				
61	1. VII	+										1,62	1,52	
61, 62	2. VII.	+	2,77	2,64	2,69	2,72			2,06	1,85	1,94	1,56	1,45	1,45
62, 63	3. VII.	+	2,33	2,74	2,15	3,03	2,80	2,50	1,94	1,90	1,69	1,69	1,62	1,48
63, 64	4. VII.	+	2,29	2,22	1,94	2,03	1,81	1.67	1,34	1,49	1,59	1,49	1,56	1,56
64	5. VII.	+	1,97	2,19	2,24	2,12	1,81			2,03	1,97	1,78		
65	6. VII.	+										1,59	1,45	
65, 66	7. VII.	+	1,03			2,09	2,03	1,81	1,81	1,76	1,62	1,69	1,52	1,41
66, 67	8. VII.	+	2,15	2,22	2,09	1,65	1,76	1,65	1,48	1,45	1,52	1,78	1,76	2,12
67, 68	9. VII.	+	1,97	2,22	1,76	2,09	2,03	2,00	1,65	1,62	1,62	1,56	2,15	1,94
68, 69	10. VII.	+	1,94	1,90	1,94	2,09	1,78	1,78	1,48	1,45	1,59	1,69		
69, 70	11. VII.	+	2,00	2,06	1,88	2,00	2,15	1,69	1,94	1,76	1,72	1,62	1,59	1,52
70, 71	12. VII.	+	2,61	2,77	2,67	2,58	2,88	2,03	2,00	3,65	3,63	2,80	2,67	2,09
71, 72	13. VII.	+	2,64	2,35	2,26	1,62	1,97	1,88	1,94	2,12	2,29	2,42	2,61	2,52
72, 73	14. VII.	+	2,80	2,50	2,55	3,00	2,72	2,06	1,62	1,78	1,81	1,85	1,59	1,78
73, 74	15. VII.	+	2,64	2,12		2,22	1,94	1,88	1,62	1,85	1,90		2,00	2,22
74, 75	16. VII.	+	1,88	2,35	2,37	2,03	1,76	1,69	1,81	2,09	1,76	2,09	2,19	2,12
75	17. VII.	+	2,06	2,57										
Stundenmittel bei Benutzung sämtlicher Einzelwerte			2,19	2,25	2,17	2,17	2,09	1,91	1,77	1,97	1,96	1,91	1,94	2,05
Stundenmittel bei Benutzung der Tage ohne Lücken			2,24	2,29	2,23	2,30	2,26	2,00	1,87	1,99	1,89	1,90	2,05	2,03

periode.

Ionen. [Gemessen in E. S. E. pro Stunde.]

Mt. 12—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10	10—11	Mn. 11—12	Tagesmittel
3,53	3,39	3,24	3,18	3,03	3,03	3,00	2,69	2,47	2,45	2,42	2,26	2,94
4,53	4,55	4,53	4,32	3,72	3,10	3,12	3,60	3,82	3,44	2,84	2,45	2,86
												1,86
						1,52	1,56	1,56	1,52	1,52	1,48	1,54
2,24	2,72	3,08	3,29	3,82	4,19	3,68	3,32	3,39	3,27	3,82	4,63	2,55
			2,24	2,15	1,94	1,78	1,76	1,81	1,97	2,00	1,85	1,95
2,35	2,50	2,55				2,40	2,35	2,29	3,00	4,02	4,26	2,17
3,00	2,96	2,54	2,09	2,06	1,88	1,85	2,03	2,19	2,38	2,55	2,84	2,85
2,80	2,55	2,29	2,12	2,03	2,03	2,06	2,26	3,05	3,05	3,72	4,16	2,75
2,35	2,50	2,22	2,33	2,26	2,22	2,22	1,69	1,69	1,81	2,00		2,43
2,00	2,06	2,03	2,03	2,06	2,09	1,81	1,59	1,65	1,78	1,94	2,19	1,93
1,41	1,45	1,59	2,12	2,61	2,91	2,80	2,24	1,72	1,72	1,94	1,85	2,14
2,09	2,19	2,16	1,94	1,78	1,72	1,48	1,14	1,10	1,27	1,30	1,34	1,72
1,97	1,90	1,56	1,48	1,59	1,56	1,37	1,34	1,34	1,41	1,48	1,56	1,59
												1,78
1,97	2,00	1,62	1,14	1,59	1,59	1,65	1,94	2,09	1,65	1,62	1,62	1,70
1,79	1,79	1,81	1,78	1,78	1,76	1,88	2,33	2,22	1,76	1,72	1,65	1,79
1,72	1,72	1,65	1,76	1,78	1,76	1,91	1,91	2,06	2,12	1,97	1,78	1,76
1,76	1,72	1,72	1,96	1,96	1,97	2,00	2,12	2,55	2,40	2,24	2,19	1,92
												1,82
1,48	1,52	1,56	1,48	1,48	1,48	1,48	1,72	2,26	2,02	2,02	2,40	1,69
			1,59	1,65	1,76	1,78	2,06	2,40	2,45	2,58	2,74	2,01
1,47	1,59	1,59	1,52	1,56	1,52	1,65	2,19	2,33	2,09	1,85	2,06	1,94
1,48	1,59	1,69	1,69	1,59	1,56	1,59	1,76	2,35	2,45	2,35	2,38	2,01
1,65	1,69	2,12	1,52	1,78	1,65	1,76	1,97	2,61	2,24	2,00	1,94	1,87
												2,02
	1,48	1,56	1,65	1,78	1,72	1,78	2,06	2,26	2,06	2,03	1,76	1,78
1,59	1,81	1,62	1,68	1,68	1,34	1,65				1,72	1,59	1,66
1,76	1,52	1,56	1,76	1,83		1,90	2,15	2,35	2,19	1,88	1,69	1,84
1,59	1,72	1,76	1,85	1,81	1,76	1,48	1,41	1,69	1,65	1,62	1,85	1,77
						1,65	1,97	1,97	1,90	1,81	1,90	1,80
1,56	1,65	1,56	1,45	1,45	1,45	1,56	1,78	2,35	2,88	3,03	2,84	1,89
1,94	1,76	1,69	1,59	1,59	1,69	1,81	1,78	1,85	1,78	2,33	2,45	2,30
2,77	2,40	3,58	3,58	2,12	2,03	2,00	1,97	2,58	2,33	2,67	2,45	2,38
1,69	2,50	3,32	3,37	3,25	3,34	3,44	3,51	2,24	2,00	2,00	2,22	2,45
2,00	2,19	2,26		2,06	2,06	1,76	1,72	1,72	2,15	2,03	1,78	1,97
2,19	2,84	3,41	4,06	4,04	2,93	4,33	2,84	1,97	1,85	1,76	1,72	2,42
2,10	2,15	2,20	2,20	2,13	2,07	2,07	2,09	2,19	2,16	2,20	2,25	2,09
2,06	2,15	2,34	2,45	2,30	2,22	2,20	2,23	2,34	2,23	2,21	2,32	2,20

b) Zerstreuung durch

Nummer des Streifens	Datum	Ionenart	Mn. 12—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10	10—11	Mt. 11—12
23	11. V.	—										2,06	2,22	2,12
23, 24	12. V.	—	3,03	2,88	2,74	2,58	2,42	2,33	2,33	2,42	3,08	3,55	2,45	
25	13. V.	—										1,56	1,59	1,52
25, 26	14. V.	—	2,09	1,45	2.03	1,85	1,85	1,85	0,99	0,89	1,35	1,38	1,33	1,33
26, 27	15. V.	—	1,38	1,23	1,34	1,23	1,30	1,10	1,14	1,17	1,14	1,30	1,20	1,23
27	16. V.	—	1,76	1,65	1,45	1,45	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23			
28	18. V.	—										1,03	1,16	1,27
28, 29	19. V.	—	2,74	2,69	2,50	2,42	2,45	2,58	2,06	2,09	2,09	2,06	1,81	1,69
29	20. V.	—	3,34	3,03	3,46									
31	21. V.	—											1,81	1,88
31, 32	22. V.	—	2,38	2,69	2,52	2,40	2,22	2,06	1,81	1,78	1,78	1,69		
32, 33	23. V.	—	2,03	2,19	1,88	1,65	1,62	1,41	1,45	1,41	1,41	1,56	1,37	1,45
36	27. V.	—										über 3,96	3,96	3,96
36, 37	28. V.	—	1,94	1,81	1,59	1,72	1,69	1,62	1,65	1,62	1,65		1,59	1,76
37, 38	29. V.	—	1,69	1,78	1,76	1,88	1,85	1,76	1,65	1,72	1,94	1,90	2,15	2,35
38, 39	30. V.	—	2,47	2,09	1,94	1,97	1,97	2,58				2,91	2,67	2,29
39	31. V.	—	2,43	2,45	2,50	2,52	2,24	1,78	1,94	1,88	1,81	1,52	1,59	
40	1. VI.	—												2,58
40, 41	2. VI.	—	3,00	3,12	3,06	3,10	2,88	2,45	2,29	2,55	2,70	2,26	2,24	2,29
41, 42	3. VI.	—	2,22	1,94	2,03	1,88	2,19	1,56	1,62	1.90	2,26	1,62	1,76	1,65
43	4. VI.	—										1,62	1,72	1,69
43, 44	5. VI.	—	2,42	2,29	2,09	2,15	1,88	1,78	1,62	1,78	1,88	1,90	2,00	1,78
44, 45	6. VI.	—	1,90	2,29	2,26	1,76	1,90	1,97	1,41	1,97	1,97	1,30	1,48	1,76
45	7. VI.	—	1,59	1,76	1,76	1,45	1,90	2,12	1,94	1,65				
47	8. VI.	—										1,37	1,52	1,52
47, 48	9. VI.	—	1,76	1,65	1,52	1,37	1,48	1,56	1,72	1,78	1,48			
48	10. VI.	—	1,37	1,45	1,56	1,45	1,41	1,41	1,41	1,37	1,45			
51	12. VI.	—												
51, 52	13. VI.	—	2,38	2,42	2,38	2,33	2,22	2,15	1,98	2,15	2,22			1,56
52, 53	14. VI.	—	2,38	2,26	2,29	2.09	1,88	1,90	1,88	1,81	1,81	1,85	1,94	2,19
53, 53a	15. VI.	—	1,94	1,97	2,03	1,88	1,72	1,76	1,59	1,59	1,62	1,94	2,29	2,45
53a	16. VI.	—	2,24	2,26	2,12	2.19	1,94	1,72	1,69	1,69	1,90			
Stundenmittel bei Benutzung sämtlicher Einzelwerte			2,14	2,09	1,98	1,84	1,80	1,73	1,61	1,65	1,79	1,86	1,94	2,00
Stundenmittel bei Benutzung der Tage ohne Lücken			2,07	2,00	1,95	1,84	1,77	1,70	1,47	1,55	1,62	1,93	2,16	2,28

c) Differenz und Verhältnis der

	Mn. 12—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10	10—11	Mt. 11—12
$Q = E_{+} - E_{-}$ bei Benutzung sämtlicher Werte	+ 0,05	+ 0,16	+ 0,19	+ 0,33	+ 0,29	+ 0,18	+ 0,16	+ 0,32	+ 0,17	+ 0,05	+ 0,00	+ 0,05
$q = E_{+} / E_{-}$ bei Benutzung sämtlicher Werte	1,024	1,076	1,095	1,180	1,161	1,104	1,100	1,193	1,095	1,027	1,000	1,025
$Q = E_{+} - E_{-}$ bei Benutzung der Tage ohne Lücken	+ 0,17	+ 0,29	+ 0,28	+ 0,46	+ 0,49	+ 0,30	+ 0,40	+ 0,44	+ 0,27	+ 0,06	— 0,11	— 0,25
$q = E_{+} / E_{-}$ bei Benutzung der Tage ohne Lücken	1,082	1,146	1,144	1,250	1,276	1,176	1,272	1,284	1,167	1,031	0,950	0,890

die negativen Ionen.

Mt. 12—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10	10—11	Mn. 11—12	Tagesmittel
2,12	2,29	2,22	2,14	2,06	2,40	2,40	2,37	2,73	3,29	3,54	3,27	2,48
		1,38	1,45	1,48	1,65							2,38
1,56	1,48	1,76	2,49	2,93	2,45	2,06	1,69	1,59	1,48	1,69	1,72	1,84
1,65	1,72	1,65	1,67	1,69	1,65	1,52	1,27	1,38	1,27	1,23	1,10	1,51
1,13	1,13	1,10	1,07	1,17	1,17	1,27	1,37	1,56	1,78	1,91	1,76	1,30
												1,38
1,23	1,27	1,30	1,38	1,27	1,30	1,41		2,24	2,77	2,93	2,93	1,68
1,45	1,34	1,23	1,23	1,59	1,59	1,30	1,48	1,94	2,33	3,05		1,99
1,81	1,69	1,62	1,52	1,47	1,56	1,56	1,76	2,00	2,24	2,40	2,42	1,84
	1,90	2,00	1,81	1,65	2,24	3,27	2,88	2,19	1,88	1,85	2,24	2,16
1,27	1,48	1,48	1,48	1,45	1,59	1,45	1,52					1,56
2,12	2,33	1,69	2,37	2,45	2,84	2,96	2,83	2,55	2,55	2,12	1,94	2,46
1,65	1,85	2,00	2,29	2,09	1,98	2,04	1,59	1,48	1,41	1,48	1,56	1,80
2,37	2,26	2,24	2,22	2,33	2,49	2,40	2,45	2,80	2,96	3,08	2,98	2,21
2,85	1,69	1,65	1,72	1,72	2,85	2,03	2,74	3,12	3,12	2,38	2,50	2,25
												2,07
2,00	1,69	1,65	1,59	1,52	1,37	1,41	1,52	1,69	1,85	2,16	2,50	1,81
2,06	1,72	1,52	1,38	1,34	1,38	1,59	3,39	2,80	2,52	2,50	2,13	2,35
1,48	1,48	1,45										1,80
1,56	1,48	1,59	1,48	1,52	1,48	1,56	1,88	2,24	2,29	2,24	2,19	1,77
1,94	2,22	1,97	1,65	1,72	2,03	2,52	2,50	2,35	2,38	2,33	1,94	2,04
1,62	1,65	1,65	1,59	1,78	1,52	1,52	1,45	1,52	1,41	1,59	1,62	1,70
												1,77
1,37	1,48	1,48	1,41	1,41	1,59	1,56	1,48	1,52	1,62	1,52	1,62	1,50
1,27	1,48	1,62	1,81	1,62	1,48	1,48	1,30	1,27	1,23	1,37	1,30	1,50
												1,43
			1,65	1,65	1,69	1,85	2,29	2,88	2,93	2,77	2,45	2,24
2,24	2,40	2,19	2,03	1,65	1,81	1,88	2,00	2,12	2,15	2,19	2,26	2,18
1,94	1,90	1,69	1,62	1,62	1,72	2,29	2,80	2,96	3,10	2,45	1,94	2,09
2,50	2,29	1,97	2,00	1,52	1,52	1,62	1,48	1,03	1,85	1,65	1,94	1,84
												1,97
1,93	1,94	1,93	1,96	1,95	2,03	2,17	2,22	2,20	2,22	2,19	2,08	1,96
2,26	2,24	2,17	2,13	2,12	2,22	2,38	2,41	2,33	2,33	2,19	2,02	2,06

Zerstreuungen durch beide Ionenarten.

Mt. 12—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10	10—11	Mn. 11—12	Tagesmittel
+ 0,17	+ 0,21	+ 0,27	+ 0,24	+ 0,18	+ 0,04	— 0,10	— 0,13	— 0,01	— 0,06	+ 0,01	+ 0,17	+ 0,13
1,088	1,109	1,140	1,121	1,092	1,020	0,954	0,942	0,995	0,964	1,004	1,082	1,067
— 0,20	— 0,09	+ 0,17	+ 0,32	+ 0,18	+ 0,00	— 0,18	— 0,18	+ 0,01	— 0,10	+ 0,02	+ 0,30	+ 0,14
0,911	0,960	1,079	1,150	1,085	1,000	0,924	0,926	1,004	0,957	1,010	1,149	1,068

Tab. 2. **Zweite Registrier**

a) Zerstreuung durch

Nummer des Blattes	Datum	Ionenart	Mn. 12—1	1—2	2—3	3-4	4—5	5-6	6-7	7—8	8-9	9-10	10-11	Mt. 11—12
25	16.XII.	+												
25	17.XII.	+	3,25	3,25	3,21	3,25	3,34	3,32	3,23	3,40	3,38	3,08		
	1909													
28	11. I.	+											2,30	2,82
28	12. I.	+	3,27	3,44	3,55	3,58	4,02							
29	14. I.	+											2,94	3,29
29, 30	15. I.	+	3,55	3,44	3,44	3,41	3,42	3,42	3,41	3,48	3,51	3,51	3,82	3,82
30, 31	16. I.	+	3,53	3,60	3,68	3,67	3,74	3,84	3,77	3,74	3,77	3,62	3,84	3,81
31	17. I.	+	3,75	3,72	3,60	3,58	3,48	3,70	3,37	3,21	3,03	3,08		
32	18. I.	+												
32, 33	19. I.	+	3,05	3,15	3,28	3,12	2,98	3,08	2,96	2,96	2,96	3,05	3,25	3,29
33, 34	20. I.	+	3,33	3,44	3,37	3,15	3,46	3,00	2,98	3,12	3,10	3,10	3,03	3,03
34, 35	21. I.	+	3,05	3,05	3,08	3,08	3,04	3,00	2,96	2,95	3,00	3,02	3,27	3,29
35, 36	22. I.	+	3,34	3,21	3,18	3,10	3,03	2,95	2,98	2,99	2,93	2,99	3,08	3,05
36, 37	23. I.	+	3,07	3,10	3,07	3,27	3,24	3,32	3,08	3,17	3,09	3,00	3,00	2,98
37	24. I.	+	3,00	3,00	3,12	3,10	3,29	3,34	3,24	2,93	2,93	3,24	2,92	
Stundenmittel bei Benutzung sämtlicher Werte			3,31	3,31	3,32	3,30	3,37	3,30	3,20	3,22	3,17	3,17	3,14	3,26
Stundenmittel bei Benutzung der Tage ohne Lücken			3,28	3,29	3,30	3,26	3,27	3,23	3,16	3,20	3,19	3,19	3,33	3,33

b) Zerstreuung durch

Nummer des Blattes	Datum	Ionenart	Mn. 12—1	1—2	2—3	3-4	4—5	5-6	6-7	7—8	8-9	9-10	10-11	Mt. 11—12
38	25. I.	—										3,10	3,10	3,23
38, 39	26. I.	—	3,25	3,10	3,32	3,41	3,00	2,96	3,05	2,98	2,98	3,07	2,83	3,08
39, 40	27. I.	—	3,00	3,08	3,05	3,03	2,98	2,93	2,91	3,00	2,98	2,93	3,03	3,12
40, 41	28. I.	—	3,03	3,04	2,98	3,03	3,15	3,15	3,20	2,96	3,13	3,37	3,03	
41, 42	29. I.	—	3,04	3,15	3,21	3,32	3,34	3,32	3,28	3,24	3,53	3,85	3,44	3,21
42, 43	30. I.	—	3,27	3,27	3,26	3,24	3,24	3,12	3,32	3,18	3,39	3,34	3,32	3,41
43	31. I.	—	3,24	3,37	3,26	3,28	3,34	3,53	3,44	3,26	3,24	3,29	3,40	3,08
44	2. II.	—											3,26	3,48
45	4. II.	—												
45, 46	5. II.	—	3,90	3,94	4,11	3,97	3,92	3,87	3,73	3,84	3,82	3,84		4,01
46, 47	6. II.	—	4,01	3,87	3,89	3,87	3,74	3,60	3,51	3,48	3,48	3,54	3,65	3,77
47	7. II.	—	3,27	3,34	3,29	3,24	3,27	3,27	3,37	3,38	3,27	3,22	2,95	
49	9. II.	—												
49	10. II.	—	2,84	2,77	2,69	3,05	2,81	2,77	2,58	2,67	2,67	2,77	2,91	2,52
50	11. II.	—												
50	12. II.	—	3,12	2,83	2,72	2,69	2,77	2,92	3,12	3,01	3,00	3,10	3,05	2,96
52	17. II.	—												
52, 53	18. II.	—	2,35	2,35	2,40	2,47	2,45	2,42	2,33	2,42	2,35	2,47	2,53	2,61
53, 54	19. II.	—	2,59	2,65	2,58	2,55	2,34	2,52	2,12	2,45	3,50			
55	20. II.	—										2,55	2,65	2,72
56	22. II.	—												2,74

periode.

die positiven Ionen.

Mt. 12—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10	10—11	11—12	Tagesmittel
					2,90	3,08	3,18	3,29	3,25	3,29	3,29	3,17
2,80	2,93	3,00	3,12	3,09	2,98	3,01	3,08	3,12	3,03	3,05	3,31	3,14
3,34	3,29	3,44	3,32	3,21	3,27	3,24	3,34	3,44	3,37	3,44	3,58	3,32
3,63	3,63	3,62	3,70	3,68	3,63	3,58	3,53	3,70	3,72	3,62	3,51	3,58
3,89	4,04	4,22	4,20	4,10	3,97	3,91	3,82	3,86	3,84	3,80	3,88	3,84
												3,48
					3,69	3,39	3,27	2,96	2,89	2,91	2,98	3,15
3,72	3,58	3,48	3,47	3,49	3,45	3,37	3,39	3,46	3,39	3,21	3,34	3,27
3,08	3,18	3,27	3,24	3,27	3,32	3,24	3,15	3,10	2,99	3,03	3,05	3,17
3,45	3,29	3,21	3,32	3,37	3,32	3,32	3,39	3,41	3,41	3,39	3,37	3,21
3,08	3,27	3,34	3,37	3,34	3,39	3,20	3,05	3,12	3,05	3,05	3,00	3,13
2,93	3,29	3,18	3,12	3,15	3,24	3,15	3,10	3,05	2,84	2,83	3,12	3,10
												3,10
3.26	3,40	3,42	3,42	3,41	3,38	3,32	3,30	3,32	3,25	3,21	3,31	3,28
3,40	3,47	3,47	3,49	3,48	3,47	3,39	3,35	3,38	3,33	3,28	3,27	3,32

die negativen Ionen.

Mt. 12—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10	10—11	11—12	Tagesmittel
3,27	3,34	3,21	3,29	3,21	3,44	3,32	3,18	3,00	3,18	3,08	3,09	3,20
3,30	3,44	3,39	3,11	3,34	3,25	2,84	3,10	3,14	3,00	3,03	3,05	3,12
3,18	3,15	3,11	3,10			3,49	3,10	2,94	2,89	2,88	2,97	3,03
3,46	3,18	3,18	3,21	3,29	3,28	3,34	3,10	2,93	2,77	2,79	2,93	3,12
3,22	3,15	3,15	3,10	3,10	3,10	3,16	2,97	2,92	2,83	2,95	3,19	3,20
3,89	3,84	3,94	3,88	3,63	3,49	3,37	3,31	3,26	3,24	3,20	3,37	3,41
												3,31
3,58	3,68	3,47	3,37	3,37	3,61	3,70	3,65	3,51	3,37			3,50
	3,72	3,92	3,92	3,87	3,92	3,87	3,93	4,04	4,19	3,97	4,01	3,94
4,04	3,79	3,89	3,99	3,96	3,94	3,99	4,13	4,19	4,16	4,04	3,89	3,96
3,74	3,70	3,70	3,63	3,55	3,50	3,48	3,41	3,32	3,41	3,37	3,29	3,60
												3,26
						2,47	2,50	2,47	2,52	2,62	2,55	2,52
												2,75
						3,01	3,18	3,37	3,39	3,48	3,46	3,27
2,74	2,71	2,77	2,83	3,03	3,07	3,12	3,34	3,48	3,44	3,28		3,01
						2,44	2,65	2,58	2,49	2,59	2,47	2,54
2,77	2,88	2,83	2,83	2,82	2,47	2,45	2,55	2,55	2,47	2,45	2,45	2,53
2,68	2,77	2,88	2,80	2,74	2,59							2,57
2,80	2,98	3,05	2,98	3,08	3,10	2,96	3,00	2,98	2,92	2,83	2,71	3,13
2,74	3,00	3,31	3,32	3,12	2,82	2,91	2,91	2,85	2,84	2,85	2,85	2,82

Nummer des Blattes	Datum	Ionenart	Mn. 12—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10	10—11	Mt. 11—12
56, 57	23. II.	—	2,84	2,88	2,82	2,83	2,85	2,84	2,82	2,85	2,96	2,76	2,91	3,01
57, 58	24. II.	—	2,58	2,72	2,50	2,24	2,35	2,09	2,24	2,22	2,70	2,34		2,67
58	25. II.	—	2,63	2,72	2,58	2,67	2,64	2,64	2,55	2,50	2,50	2,12		
59	26. II.	—											2,50	2,55
59	27. II.	—	2,69	2,73	2,77	2,85	2,80	2,67	2,67	2,50	2,35			
60	28. II.	—												
60, 61	1. III.	—	2,83	2,61	2,65	2,74	2,61	2,45	2,15	2,12	2,33	2,29	1,91	1,91
61, 62	2. III.	—	2,74	2,77	2,80	2,83	2,74	2,40	2,83	2,72	2,74	2,83	2,74	2,48
62, 63	3. III.	—	2,85	2,96	2,91	2,69	2,69	2,61	2,58	2,77	2,69	2,69	2,74	2,91
63, 64	4. III.	—	2,85	2,80	2,88	2,74	2,78	2,74	2,72	2,72	2,85	2,88	3,08	3,29
64, 65	5. III.	—	3,08	3,05	2,98	2,83	2,88	2,93	2,88	2,93	2,85	2,88	3,03	3,18
65	6. III.	—	2,93	2,67	2,74	2,80	2,77	2,64	2,58	2,77	2,55	2,80	3,00	3,15
65, 66	7. III.	—	3,03	3,00	3,15	3,03	2,93	2,88	2,72	2,61	2,61	2,96	3,27	3,29
66	8. III.	—	3,26	3,25	3,15	3,07	3,00	2,98	2,88	2,93	3,05	3,27	3,39	3,39
Stundenmittel bei Benutzung sämtlicher Werte			3,01	2,99	2,99	2,98	2,93	2,89	2,86	2,86	2,90	2,97	3,00	3,04
Stundenmittel bei Benutzung der Tage ohne Lücken			2,99	2,94	2,97	2,95	2,90	2,83	2,80	2,79	2,87	2,92	2,93	3,01

c) Differenz und Verhältnis der

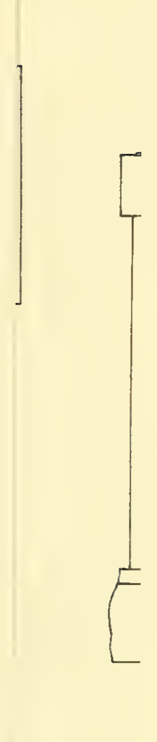
$Q = E_+ - E_-$ bei Benutzung sämtlicher Werte	+ 0,30	+ 0,32	+ 0,33	+ 0,32	+ 0,44	+ 0,41	+ 0,34	+ 0,36	+ 0,27	+ 0,20	+ 0,14	+ 0,25
$q = E_+ / E_-$ bei Benutzung sämtlicher Werte	1,100	1,110	1,114	1,106	1,150	1,141	1,120	1,125	1,094	1,067	1,047	1,072
$Q = E_+ - E_-$ bei Benutzung der Tage ohne Lücken	+ 0,29	+ 0,35	+ 0,33	+ 0,31	+ 0,37	+ 0,40	+ 0,36	+ 0,41	+ 0,32	+ 0,27	+ 0,40	+ 0,32
$q = E_+ / E_-$ bei Benutzung der Tage ohne Lücken	1,097	1,120	1,110	1,099	1,128	1,140	1,129	1,148	1,111	1,092	1,136	1,106

Mt. 12—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10	10—11	11—12	Tages-mittel
3,08	3,03	3,05	3,21	3,03	2,77	2,62	2,72	2,74	2,69	2,72	2,69	2,86
2,76	2,88	2,91	2,93	2,77	2,65	2,55	2,58	2,58	2,64	2,67	2,50	2,57
												2,55
2,80	2,85	2,96	2,94	2,80	2,67	2,67	2,80	2,72	2,72	2,77	2,69	2,75
												2,67
2,93	2,98	2,96	3,03	2,93	2,93	3,00	3,00	2,77	2,64	2,98	2,96	2,92
3,37	3,34	3,18	3,24	3,24	3,08	2,67	2,96	2,74	2,69	2,74	2,72	2,69
2,83	2,96	3,04	3,10	3,15	3,10	2,83	2,71	2,69	2,69	2,72	2,80	2,80
3,03	3,10	3,21	3,21		3,12	2,72	2,74	2,80	2,83	2,83	2,83	2,85
3,41	3,55	3,55	3,53	3,52	3,27	3,05	3,29	3,29	3,27	3,26	3,25	3,11
3,10	3,24	3,24	2,96	2,83	2,80	2,61	2,85	2,74	2,74	2,80	2,83	2,93
3,29	3.39	3,39	3,51	3,25	3,46	2,85	2,83	2,88	2,88	2,86	2,88	2,95
3,39	3,38	3,34	3,37	3,29	3,21	3,25	3,29	3,25	3,27	3,32	3,27	3,13
3,48	3,46	3,45	3,46									3,21
3,19	3,24	3,27	3,24	3,20	3,14	3,11	3,06	3,02	3,06	3,00	2,99	2,97
3,24	3,29	3,28	3,28	3,19	3,09	2,91	2,96	2,93	2,91	2,92	2,95	2,99

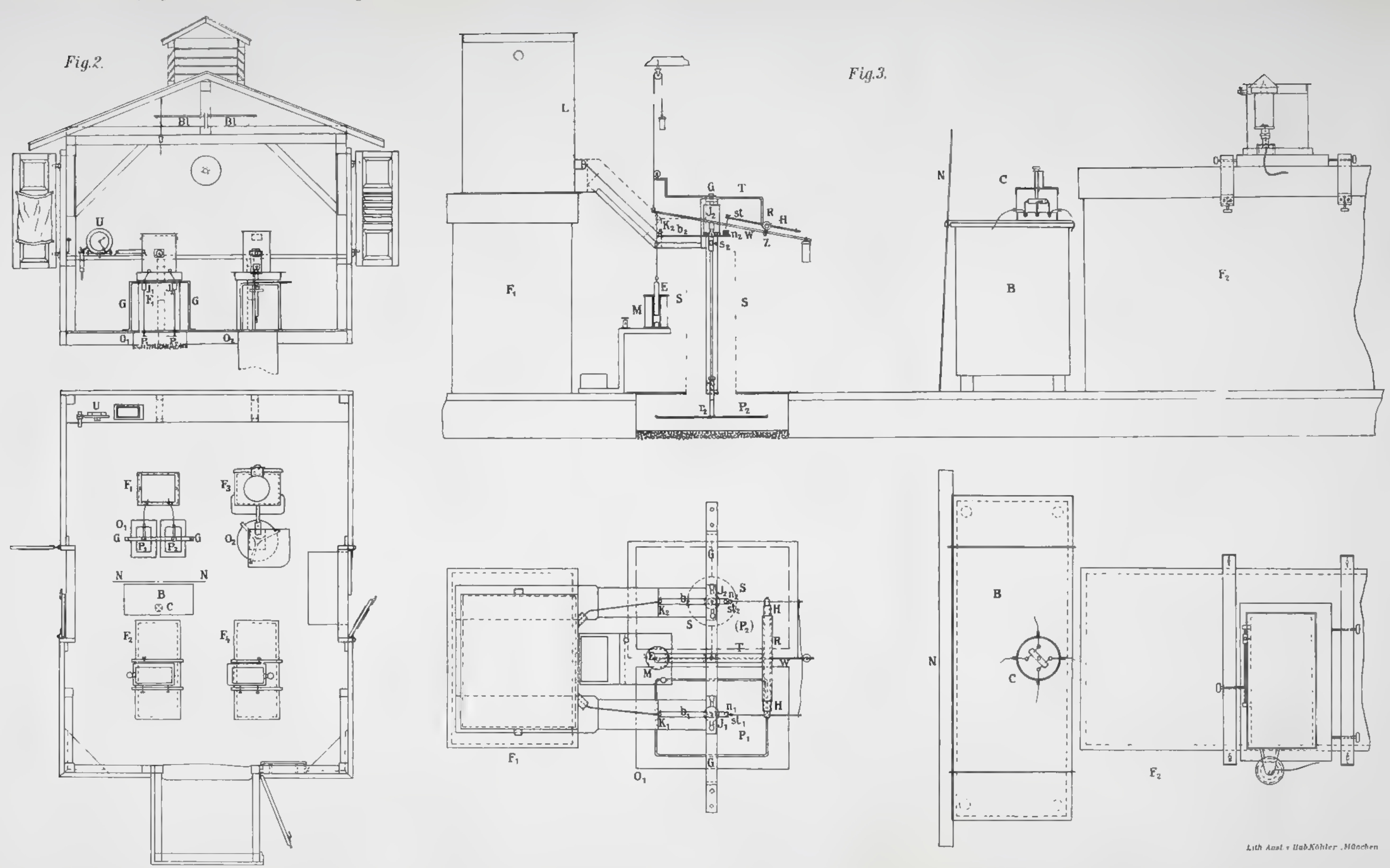
Zerstreuungen durch beide Ionenarten.

+ 0,07	+ 0,16	+ 0,15	+ 0,18	+ 0,21	+ 0,24	+ 0,21	+ 0,24	+ 0,30	+ 0,19	+ 0,21	+ 0,32	+ 0,31
1,022	1,050	1,045	1,055	1,065	1,077	1,068	1,079	1,100	1,063	1,070	1,106	1,110
+ 0,16	+ 0,18	+ 0,19	+ 0,21	+ 0,29	+ 0,38	+ 0,48	+ 0,39	+ 0,45	+ 0,42	+ 0,36	+ 0,32	+ 0,33
1,050	1,054	1,059	1,064	1,090	1,124	1,165	1,162	1,154	1,144	1,123	1,109	1,110

Inhalt.

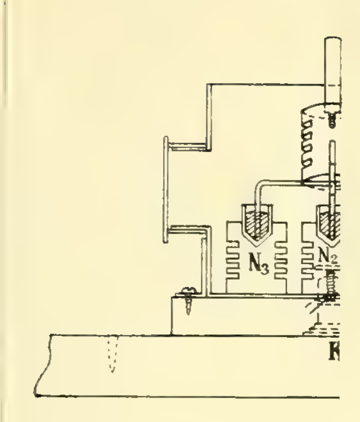


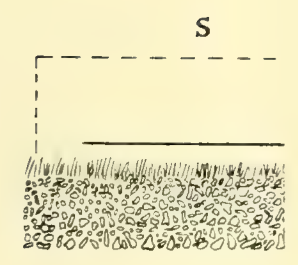




Lith. Anst. v. Hub. Köhler, München

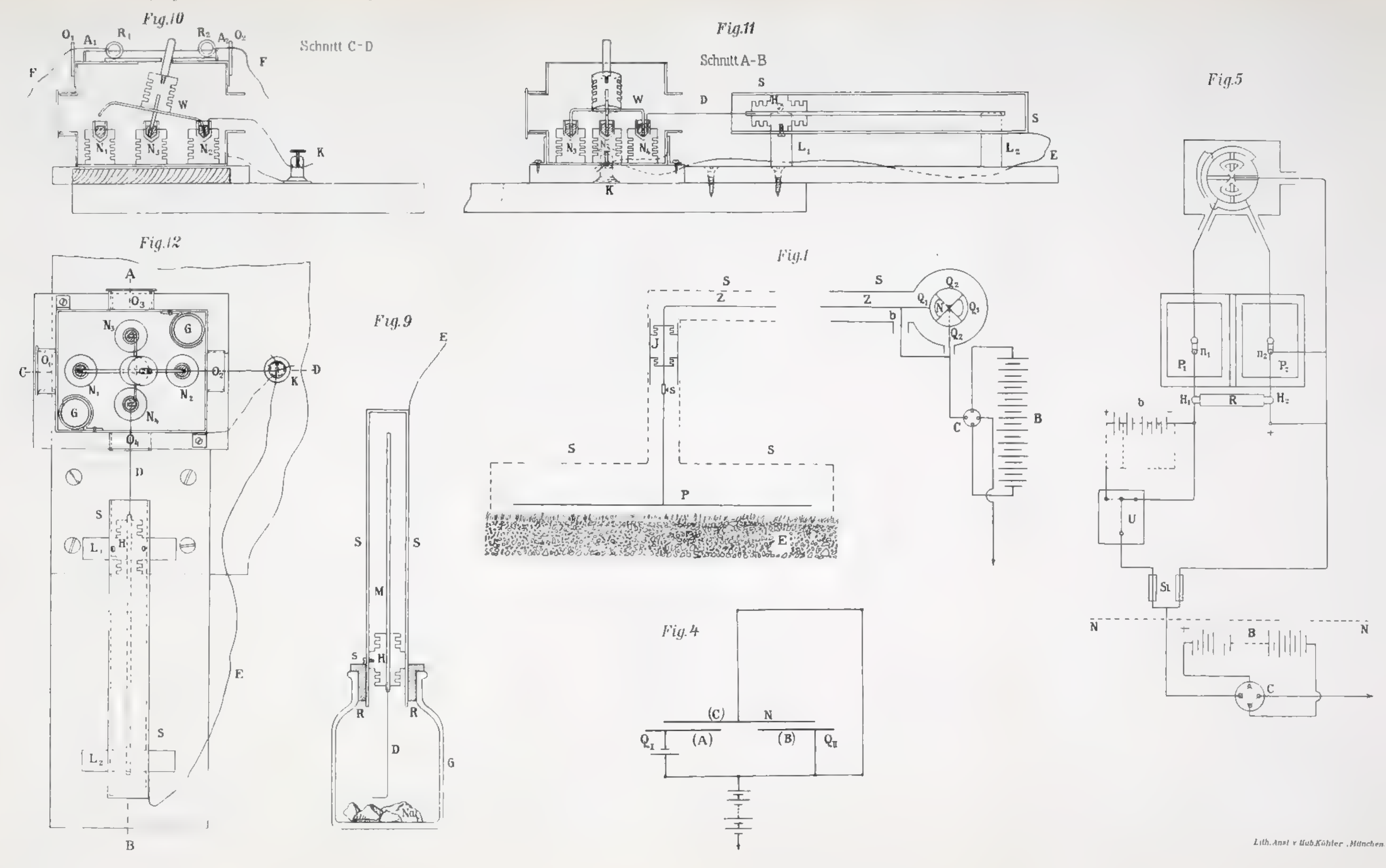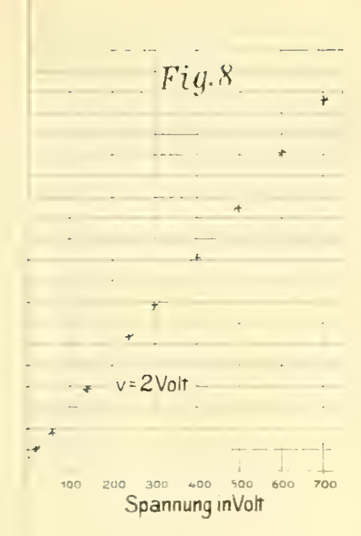






6





Lith. Anst. v. Hub. Köhler, München




Fig. 8
v = 2 Volt
100 200 300 400 500 600 700
Spannung in Volt

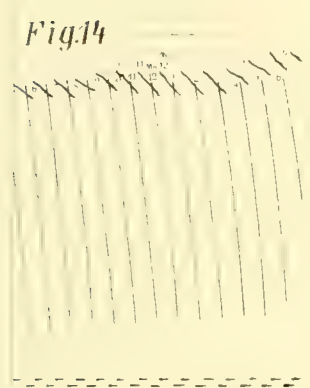
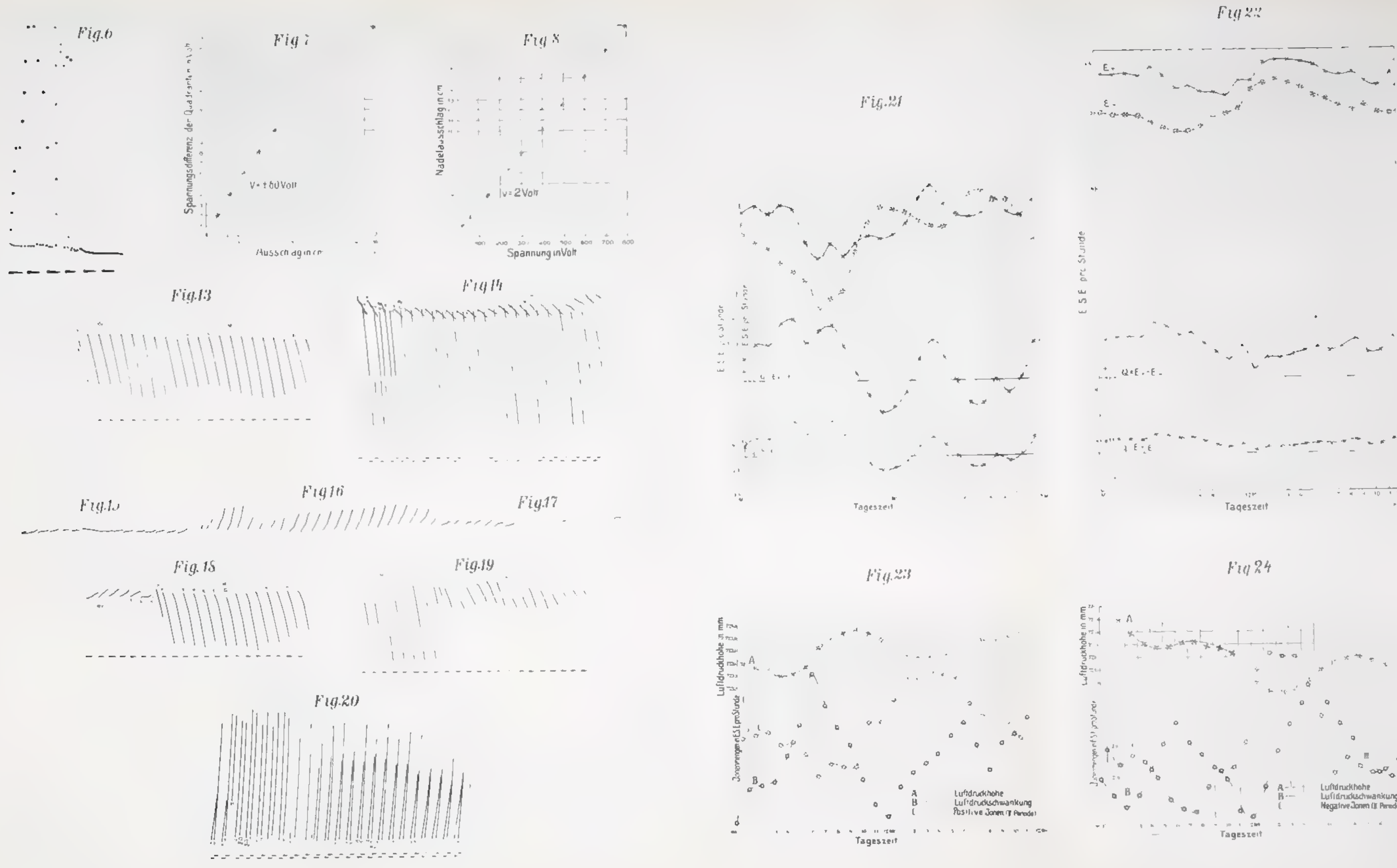

Fig. 14

Fig. 17

Fig. 19





Lith. Anst. v. Hub. Köhler München



Abhandlungen
der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
XXV. Band, 3. Abhandlung

Betrachtungen

über die

räumliche Verteilung der Fixsterne

(2. Abhandlung)

von

H. Seeliger.

Vorgelegt am 6. November 1909.

München 1909
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



Den Zusammenhang, in welchem die räumliche Verteilung der Sterne mit der scheinbaren steht, habe ich in einer vor 11 Jahren erschienenen Abhandlung [1]) auf allgemeineren Grundlagen, als früher benutzt worden sind, festgestellt. Dieser Zusammenhang ist durch vier Integralformeln gegeben, welche die Anzahl A_m der Sterne von den hellsten bis zu denen von der Größe m und die mittleren Entfernungen der Sterne in einem festgesetzten Helligkeitsintervall mit der räumlichen Dichtigkeitsverteilung und der Häufigkeitsfunktion der Leuchtkräfte verbindet. Eine Diskussion dieser Formeln führte zu einigen allgemeineren Sätzen und die Art ihrer Verwendung wurde unter gewissen Annahmen durchgeführt. Diese Annahmen waren ziemlich willkürlich, da die zu Grunde liegenden empirischen Daten nicht in erforderlicher Sicherheit und Vollständigkeit zu beschaffen waren.

Die in I begonnenen Untersuchungen sollen nun weitergeführt werden. Es wird dies insofern auf breiterer Basis geschehen, als die Grundgleichungen für die allgemeinsten Formen, die man für die Häufigkeitsfunktion φ der Leuchtkräfte annehmen kann, aufgestellt werden und auch die weiteren Ausführungen immer und nicht bloß anhangsweise, wie in I, mit Berücksichtigung etwaiger im Weltraum stattfindenden Absorptionen des Sternlichts geschehen. In einer anderen Richtung dagegen soll die zahlenmäßige Anwendung eine gewisse Beschränkung erhalten. Während in I die räumliche Dichtigkeit als Funktion der Entfernung und der galaktischen Breite angesehen wurde, soll sie hier nur als von der Entfernung abhängig betrachtet werden. Dadurch wird selbstverständlich die Abweichung von den tatsächlichen Verhältnissen vergrößert, aber die empirischen Daten, die in den letzten 11 Jahren sich nicht bedeutend genug vermehrt haben, um das allgemeinere Problem von neuem verfolgen zu können, werden zu Aussagen von erheblich größerer Zuverlässigkeit bei der genannten, viel weitergehenden, Vereinfachung zusammen-

[1]) Betrachtungen über die räumliche Verteilung der Fixsterne. Abhandl. der K. Bayer. Akademie d. Wiss., II. Klasse, XIX. Bd. München 1898. Diese Abhandlung wird im folgenden mit I bezeichnet.

gefaßt. Was die Funktion φ betrifft, so erlauben die zahlreichen Parallaxenbestimmungen an den uns nächsten Sternen der letzten Jahre wenigstens gewisse Mutmaßungen über ihren Verlauf aufzustellen und so die früheren, ganz willkürlichen Annahmen durch voraussichtlich bessere zu ersetzen. Es kann gezeigt werden, daß unter gewissen plausibeln Voraussetzungen die Kenntnis des Verlaufs von φ nur in einem Bereiche nötig ist, der von den direkten Parallaxenbestimmungen, wie sie jetzt ausgeführt werden, umspannt werden kann, um sowohl die Zahlen A_m als auch die mittleren Parallaxen bis zu Sternen von ungefähr der 17. Größe darzustellen. Damit ist in absehbarer Zeit eine wesentliche Förderung des Problems der räumlichen Verteilung der Sterne möglich durch die Untersuchung möglichst vieler Sterne auf wirklich meßbare Parallaxen.

Neue Schwierigkeiten entstehen aber durch Berücksichtigung merkbarer Absorptionen des Sternlichts, deren Vorhandensein kaum geleugnet werden kann. In den Ausdrücken für die Sternanzahlen A_m erscheint die Absorption untrennbar verbunden mit der räumlichen Dichtigkeit in der Sternverteilung. Erst die Heranziehung der mittleren Parallaxen für Sterne verschiedener Helligkeit ergibt die Möglichkeit einer Trennung beider. Für schwächere Sterne sind aber solche Parallaxen, wenigstens nach den bestehenden Methoden, wegen ihrer Kleinheit nicht direkt meßbar und man ist zu Benutzung von hypothetischen Parallaxenwerten gezwungen, deren Sicherheit sich gegenwärtig kaum genügend beurteilen läßt. Dazu kommt noch, daß die Anzahlen A_m nur für $m < 9.2$ und auch hier nur für den nördlichen Himmel hinreichend genau bekannt sind. Die genauere Ermittlung dieser Zahlen für größere m bietet immer noch erhebliche Schwierigkeiten dar. Diese werden sich aber voraussichtlich in allernächster Zeit wesentlich verringern, da die Festlegung der photometrischen und photographischen Helligkeiten genügend vieler und schwacher Sterne von verschiedenen Seiten in Angriff genommen ist und die betreffenden Arbeiten guten Erfolg versprechen. Ist erst diese Aufgabe gelöst, dann wird eine bessere Ermittlung der A_m bis zu Werten von $m = 14$ oder 15 durchgeführt werden können und alle Betrachtungen über die räumliche Verteilung der Sterne werden auf mehr gesicherter Grundlage ruhen.

Unter den gegenwärtigen Verhältnissen muß man sich begnügen, die Beziehungen, die zwischen den Zahlen A_m, den Parallaxenwerten, der Funktion φ, der Absorption und der räumlichen Sternfülle bestehen, möglichst klarzustellen und zu durchschauen und dazu sollen die vorliegenden Untersuchungen einen Beitrag liefern. Der wesentliche Inhalt der folgenden Betrachtungen wird sein:

Art. 1. Aufstellung und Diskussion der Grundformeln in möglichst allgemeiner Form.
Art. 2. Kurze Darlegung der ganzen Fragestellung.
Art. 3. Die empirischen Daten in Bezug auf die Funktion φ.
Art. 4. Die empirischen Daten in Bezug auf die Sternanzahlen A_m.
Art. 5. Die Darstellung der Anzahlen A_m durch die Formeln.
Art. 6. Die Darstellung der mittleren Parallaxen durch die Formeln und die Abhängigkeit dieser Darstellung von der Absorption.
Art. 7. Bemerkungen über das Vorhandensein einer merkbaren Absorption.

Schließlich sei noch bemerkt, daß eine Mitteilung der Hauptresultate dieser Untersuchung in den Astronomischen Nachrichten, Nr. 4359, Bd. 182 erschienen ist.

I.

Als Einheit der Entfernung werde im folgenden stets die „Siriusweite" gewählt; das ist die Entfernung eines Sternes mit der Parallaxe 0.″2. Der Raum, der durch die sichtbaren Sterne erfüllt ist, sei durch zwei Flächen begrenzt. Die äußere sei durch die Entfernung r_1, die innere durch r_0 definiert, wo r_0 und r_1 als Funktionen beliebiger Polarkoordinaten gegeben seien. In I wurden die Bedingungen näher erörtert, unter denen $r_0 = 0$ gesetzt werden darf. Diese Bedingungen sollen hier als erfüllt angesehen werden. Ferner soll A_m die Anzahl der Sterne, von den hellsten bis zur Größe m, bezeichnen, welche auf einem Flächenstück ω des Himmels zu stehen scheinen. Zunächst soll ω sehr klein sein, später wird es den ganzen Himmel umfassen.

Denkt man sich nun alle Sterne, die in der Entfernung r in einem Raumelement $d\tau$ liegen, dessen Projektion das erwähnte ω ist, in die Entfernung 1 versetzt, so werden sie die scheinbare Helligkeit i — ich habe diese Größe in I absolute Leuchtkraft genannt — aufweisen. Diese i werden nach Maßgabe einer Häufigkeitsfunktion $\varphi(i)$ verteilt sein, so daß die Anzahl der Sterne im Volumelement $d\tau$, deren Leuchtkraft zwischen i und $i + di$ liegt,

$$D \cdot \varphi(i) \cdot d\tau\, di$$

ist. D ist danach die Anzahl aller Sterne in der Volumeinheit. Über $\varphi(i)$ läßt sich a priori nichts aussagen, da bekanntlich solche Verteilungsfunktionen alle möglichen Formen haben können. Zur Wahrung genügender Allgemeinheit wird man annehmen müssen, daß i alle Werte von Null bis zu einem gewissen *endlichen* Maximalwert H haben kann. Man muß sich dann $\varphi(i)$ so bestimmt denken, daß

$$\int_0^H \varphi(i)\, di = 1$$

ist. Im allgemeinen wird sowohl φ als auch H von den Polarkoordinaten des betrachteten Himmelsteils ω und von der Entfernung r abhängen.

Für ein bestimmtes r wird also $y = \varphi(i)$ eine Kurve darstellen, deren Verlauf für positive y und i definiert ist. $\varphi(H)$ wird also einen positiven Wert, der auch Null sein kann, darstellen. Mit fortschreitender Zeit wird sich diese Kurve ändern und zwar so, daß sich jeder Punkt derselben parallel zur Achse der i verschieben wird und zwar, da im Durchschnitt wohl nur eine fortdauernde Abkühlung der Sterne zu erwarten ist, im Sinne kleiner werdender i. Man kann manches dafür anführen, daß mit fortschreitender Zeit die Kurve an ihrem Ende, d. h. in der Nähe von $i = H$, einen steileren Abfall erhalten wird. Sicherlich ist aber kein Grund vorhanden anzunehmen, daß etwa $\varphi'(H) = 0$ und $\varphi(0) = 0$ sein müßte. Man kann nun selbstverständlich an φ einen solchen Diskontinuitätsfaktor anbringen, daß man $H = \infty$ annehmen dürfte, wodurch sich alle Formeln wesentlich vereinfachen würden. Alle Diskussionen und besonders alle numerischen Anwendungen würden aber dadurch so schwerfällig werden, daß man auf dieses Mittel verzichten wird. Man könnte auch von der Bemerkung ausgehen, daß $\varphi(i)$ doch rein empirisch und damit nur angenähert bestimmt werden kann. Dann wäre eine Darstellung von $\varphi(i)$ durch eine überall stetige Funktion, die für $i > H$ überaus kleine Ordinaten hätte, möglich. Aber auch diese Darstellung wäre im allgemeinen nicht zu empfehlen, da sie sich oft praktisch schwierig gestalten würde, auch eine Abschätzung der begangenen Ungenauigkeiten mit Umständlichkeiten verknüpft wäre. Jedenfalls ist es am besten, die Entwicklungen von Anfang an nicht mehr zu spezialisieren, als unbedingt nötig ist.

Es soll nun gleich auf eine etwaige Absorption des Sternlichtes Rücksicht genommen werden. Wie auch eine solche Absorption zustande kommen mag, sie wird dadurch berücksichtigt, daß ein Stern von der Leuchtkraft i in der Entfernung r nicht die scheinbare Helligkeit $h = \frac{i}{r^2}$, sondern

$$h = \frac{i\,\psi(r)}{r^2} \tag{1}$$

haben wird, wo ψ zunächst eine beliebige Funktion ist, die auch von der Richtung, in der der Himmelsteil ω liegt, abhängen kann.

Die Anzahl $A(d\tau)$ der Sterne, welche auf ω stehen, die Entfernung r und die Leuchtkraft i haben, wird demnach sein:

$$A(d\tau) = D\,\varphi(i, r)\, di\, d\tau.$$

Setzt man $d\tau = \omega r^2 dr$, so wird

$$A(d\tau) = \omega D \frac{r^4}{\psi(r)} \varphi\left(\frac{hr^2}{\psi(r)}, r\right) dr\,dh$$

die Anzahl der Sterne sein, deren Entfernung zwischen r und $r+dr$ und deren Helligkeit zwischen h und $h+dh$ liegt. Die Anzahl $A_m(d\tau)$ aller dieser Sterne von den hellsten bis zu denen der Helligkeit h_m, die der Größe m entspricht, wird so:

$$A_m(d\tau) = \omega \frac{Dr^4}{\psi(r)} dr \int_{h_m}^{\frac{H\psi(r)}{r^2}} \varphi\left(\frac{hr^2}{\psi(r)}, r\right) dh.$$

A_m ergibt sich dann:

$$A_m = \omega \int \frac{Dr^4}{\psi(r)} dr \int_{h_m}^{\frac{H\psi(r)}{r^2}} \varphi\left(\frac{hr^2}{\psi(r)}, r\right) dh, \tag{I a}$$

wo in Bezug auf alle r zu integrieren ist, für welche

$$\frac{H\psi(r)}{r^2} > h_m.$$

Besonders einfach läßt sich die letzte Formel schreiben, wenn $\frac{H(r)\psi(r)}{r^2}$ eine stets abnehmende Funktion von r ist. Dann hat man offenbar die beiden Fälle $r_1 \gtrless \sigma$ zu unterscheiden, wenn σ aus der Gleichung bestimmt wird:

$$\frac{H(\sigma)\psi(\sigma)}{\sigma^2} = h_m. \tag{2}$$

Es ergibt sich auf diese Weise:

$$\left.\begin{aligned} A_m &= \omega \int_0^{\sigma} Dr^2 dr \int_{h_m \frac{r^2}{\psi(r)}}^{H} \varphi(x,r)\,dx; \quad r_1 > \sigma \\ A_m &= \omega \int_0^{r_1} Dr^2 dr \int_{h_m \frac{r^2}{\psi(r)}}^{H} \varphi(x,r)\,dx; \quad r_1 < \sigma \end{aligned}\right\}. \tag{I b}$$

In gleicher Weise kann man die mittlere Entfernung $\varrho_{m m_1}$ aller Sterne, die zwischen den Größen m und $m_1 < m$ liegen, erhalten:

$$\varrho_{m m_1}(A_m - A_{m_1}) = \omega \int Dr^3 dr \int_{h_m \frac{r^2}{\psi(r)}}^{H} \varphi(x,r)\,dx - \omega \int Dr^3 dr \int_{h_{m_1} \frac{r^2}{\psi(r)}}^{H} \varphi(x,r)\,dx$$

worin das erste bzw. das zweite Integral über alle r zu erstrecken ist, welche den Bedingungen genügen:

$$\frac{H(r)\,\psi(r)}{r^2} > h_m; \qquad \frac{H(r)\,\psi(r)}{r^2} > h_{m_1}.$$

Führt man statt $\varrho_{m m_1}$ die mittleren Parallaxen $\pi_{m m_1}$ ein, so wird:

$$\frac{\pi_{m m_1}}{0\overset{''}{.}2}(A_m - A_{m_1}) = \omega \int D\, r\, d r \int\limits_{h_m \frac{r^2}{\psi(r)}}^{H} \varphi(x, r)\, d x - \omega \int D\, r\, d r \int\limits_{h_{m_1} \frac{r^2}{\psi(r)}}^{H} \varphi(x, r)\, d x. \tag{II a}$$

Bei monotoner Abnahme der Funktion $\frac{H(r)\,\psi(r)}{r^2}$ kann man diese Formel schreiben:

$$\frac{\pi_{m m_1}}{0\overset{''}{.}2}(A_m - A_{m_1}) = \omega \int\limits_0^{\sigma} D\, r\, d r \int\limits_{h_m \frac{r^2}{\psi(r)}}^{H} \varphi(x, r)\, d x - \omega \int\limits_0^{\sigma_1} D\, r\, d r \int\limits_{h_{m_1} \frac{r^2}{\psi(r)}}^{H} \varphi(x, r)\, d x, \tag{II}$$

wobei neben (2) noch die Gleichung

$$\frac{H(\sigma_1)\,\psi(\sigma_1)}{\sigma_1^2} = h_{m_1}$$

besteht. Die Formel (II) gilt offenbar, solange $r_1 > \sigma > \sigma_1$. Die übrigen Fälle erledigen sich leicht. Ist $\sigma > r_1 > \sigma_1$, dann ist im ersten Integral r_1 an Stelle von σ zu setzen und das zweite bleibt ungeändert. Ist schließlich $\sigma > \sigma_1 > r_1$, dann sind beide Grenzen σ und σ_1 gleich r_1.

Führt man weiter eine Konstante H_1 ein derart, daß:

$$H(r) = H_1\, F(r),$$

ersetzt ferner die Integrationsvariable x durch y und r durch ϱ, wobei:

$$x = y \cdot F(r); \quad \frac{r^2}{F(r) \cdot \psi(r)} = \varrho^2; \quad r = f(\varrho), \tag{3}$$

und führt die Bezeichnung ein:

$$\left.\begin{aligned} \varDelta(\varrho) &= D\,[f(\varrho)] \cdot \left(\frac{f(\varrho)}{\varrho}\right)^2 f'(\varrho) \\ F\,[f(\varrho)] \cdot \varphi\,\{y \cdot F f(\varrho), f(\varrho)\} &= \varPhi(y, \varrho) = F(r)\,\varphi\,[y \cdot F(r), r] \end{aligned}\right\}, \tag{4}$$

so wird schließlich:

$$\left.\begin{aligned} A_m &= \omega \int\limits_0^{\sqrt{\frac{H_1}{h_m}}} \Delta(\varrho)\cdot\varrho^2\,d\varrho \int\limits_{h_m\varrho^2}^{H_1} \Phi(y,\varrho)\,dy; \quad m < n \\ A_m &= \omega \int\limits_0^{\sqrt{\frac{H_1}{h_n}}} \Delta(\varrho)\cdot\varrho^2\,d\varrho \int\limits_{h_m\varrho^2}^{H_1} \Phi(y,\varrho)\,dy; \quad m > n \end{aligned}\right\}, \tag{III}$$

wenn man nämlich die Sterngröße n definiert durch:

$$\frac{r_1^2}{F(r_1)\,\psi(r_1)} = \frac{H_1}{h_n} \quad \text{oder} \quad \frac{r_1^2}{H(r_1)\,\psi(r_1)} = \frac{1}{h_n}.$$

Es ist also, nach (1), n die scheinbare Größe der hellsten Sterne, die sich in der Entfernung r_1 befinden. In ganz gleicher Weise wird man (II) umformen können:

$$\frac{\pi_{m\,m_1}}{0''\!.2}(A_m - A_{m_1}) = \omega \int\limits_0^{\sqrt{\frac{H_1}{h_m}}} \Delta(\varrho)\,\frac{\varrho^2}{f(\varrho)}\,d\varrho \int\limits_{h_m\varrho^2}^{H_1} \Phi(y,\varrho)\,dy - \omega \int\limits_0^{\sqrt{\frac{H_1}{h_{m_1}}}} \Delta(\varrho)\cdot\frac{\varrho^2}{f(\varrho)}\,d\varrho \int\limits_{h_{m_1}\varrho^2}^{H_1} \Phi(y,\varrho)\,dy, \tag{IV}$$

wo also, wie oben bemerkt, eventuell m oder m und m_1 in den oberen Grenzen der ersten Integrale durch n zu ersetzen sind.

In vielen Fällen der numerischen Anwendung wird es genügen, einen speziellen Fall von (IV) zu nehmen, nämlich den, wo m und m_1 unendlich wenig von einander verschieden sind. $\pi_{m\,m_1}$ wird dann die mittlere Parallaxe der Sterne von der scheinbaren Größe m und mit π_m zu bezeichnen sein, und es wird:

$$\left.\frac{\pi_m}{0''\!.2} = \frac{\displaystyle\int\limits_0^{\sqrt{\frac{H_1}{h_m}}} \Delta(\varrho)\cdot\frac{\varrho^4}{f(\varrho)}\cdot\Phi(h_m\varrho^2,\varrho)\,d\varrho}{\displaystyle\int\limits_0^{\sqrt{\frac{H_1}{h_m}}} \Delta(\varrho)\cdot\varrho^4\cdot\Phi(h_m\varrho^2,\varrho)\,d\varrho}\right\}. \tag{IV a}$$

Diese Formel gilt für $m < n$. Für $m > n$ ist in den Grenzen der beiden Integrale m durch n zu ersetzen. Es ist vorausgesetzt, daß die Häufigkeitsfunktion $\varphi(x, r)$ für jedes r die Gleichung (1) erfüllt, also:

$$\int\limits_0^{H(r)} \varphi(x,r)\,dx = 1,$$

Mit den Bezeichnungen von (3) und (4) ergibt sich hieraus:

$$F(r) \cdot \int_0^{H_1} \varphi\,[y \cdot F(r), r]\; dy = \int_0^{H_1} \Phi(y, \varrho)\, dy = 1. \tag{5}$$

Die Gesamtzahl aller Sterne A_∞ auf dem Areale ω ergibt sich aus der zweiten Gleichung (III), wenn $m = \infty$ gesetzt wird. Also mit Hilfe von (5)

$$A_\infty = \omega \int_0^{\sqrt{\frac{H_1}{h_n}}} \Delta(\varrho) \cdot \varrho^2\, d\varrho$$

und die Gesamthelligkeit H_0 aller Sterne findet man leicht, wenn man $A(d\tau)$ mit h multipliziert und in Bezug auf alle $i = x$ von 0 bis $H(r)$ und dann in Bezug auf r von 0 bis r_1 integriert:

$$H = \omega \cdot \int_0^{r_1} D \cdot \psi(r)\, dr \int_0^{H(r)} \varphi(x, r) \cdot x \cdot dx$$

oder:

$$H = \omega \cdot \int_0^{\sqrt{\frac{H_1}{h_n}}} \Delta(\varrho) \cdot d\varrho \int_0^{H_1} \Phi(y, \varrho)\, y\, dy. \tag{V}$$

In (III) und (IVa) liegen vier Integralformeln vor, in denen die drei unbekannten Funktionen Δ, f, Φ und die ebenfalls zunächst unbekannte Größe h_n vorkommen und diese Funktionen mit den Abzählungsresultaten A_m und den mittleren Parallaxen π_m verbinden. Man sieht aus den Formeln (III), daß hier nur Δ und Φ vorkommen. Selbst wenn also die letztere Funktion bekannt wäre, kann man aus den Abzählungsresultaten allein nicht die räumliche Dichtigkeitsverteilung der Sterne bestimmen, sondern nur die Funktion $\Delta(\varrho)$, welche außer $D(r)$ noch vom Produkt der beiden Funktionen $F(r)$ und $\psi(r)$ abhängt. Es ist also unmöglich, in den Zahlen A_m den Einfluß der Absorption $\psi(r)$ von der Dichtigkeit $D(r)$ zu trennen und beide Funktionen zu bestimmen, was in der Tat versucht worden ist.

Faßt man die Gleichungen (III) und (IVa) als Bestimmungsgleichungen für Δ und Φ aus den gegebenen A_m und π_m auf, so liegt ein System von sogenannten simultanen Integralgleichungen vor. Um diesen theoretischen Zusammenhang besser hervortreten zu lassen, wird es sich empfehlen, mit (III) und (IVa) solche Umformungen vorzunehmen, daß nur einfache Integrale mit festen Grenzen vorkommen. Differentiiert man (III) nach h_m, so wird:

$$\frac{\partial A_m}{\partial h_m} = -\omega \int_0^{\sqrt{\frac{H_1}{h_m}}} \Delta(\varrho)\,\varrho^4\,\Phi(h_m\varrho^2, \varrho)\,d\varrho;\quad m < n$$

$$\frac{\partial A_m}{\partial h_m} = -\omega \int_0^{\sqrt{\frac{H_1}{h_n}}} \Delta(\varrho)\,\varrho^4\,\Phi(h_m\varrho^2, \varrho)\,d\varrho;\quad m > n.$$

Führt man noch die neuen Funktionen χ und Φ_1 ein:

$$\chi\left(\varrho\sqrt{\frac{h_n}{H_1}}\right) = \Delta(\varrho)\cdot\varrho^4$$

$$\Phi_1\left(\varrho\sqrt{\frac{h_m}{H_1}},\ \varrho\sqrt{\frac{h_n}{H_1}}\right) = \Phi(h_m\varrho^2, \varrho),$$

und als Integrationsvariable:

$$x = \varrho\sqrt{\frac{h_m}{H_1}},$$

dann wird die erste Gleichung:

$$\frac{\partial A_m}{\partial h_m} = -\omega\sqrt{\frac{H_1}{h_m}}\int_0^1 \chi\left(x\sqrt{\frac{h_n}{h_m}}\right)\cdot\Phi_1\left(x, x\sqrt{\frac{h_n}{h_m}}\right)dx;\quad \frac{h_n}{h_m} < 1.$$

Führt man neben denselben Bezeichnungen die Integrationsvariable $x = \varrho\sqrt{\frac{h_n}{H_1}}$ in die zweite Gleichung ein, so wird:

$$\frac{\partial A_m}{\partial h_m} = -\omega\sqrt{\frac{H_1}{h_n}}\int_0^1 \chi(x)\cdot\Phi_1\left(x\sqrt{\frac{h_m}{h_n}}, x\right)dx;\quad \frac{h_m}{h_n} < 1.$$

Als bekannte Funktionen sind also anzusehen:

$$-\frac{1}{\omega}\frac{\partial A_m}{\partial h_m}\sqrt{\frac{h_m}{H_1}} = f_1(\zeta);\quad \zeta = \sqrt{\frac{h_n}{h_m}} < 1;\quad m < n$$

$$-\frac{1}{\omega}\frac{\partial A_m}{\partial h_m}\sqrt{\frac{h_n}{H_1}} = f_2(\zeta);\quad \zeta = \sqrt{\frac{h_m}{h_n}} < 1;\quad m > n$$

und es ergeben noch die beiden Integralgleichungen:

$$\left.\begin{aligned} f_1(\zeta) &= \int_0^1 \chi(\zeta x)\cdot\Phi_1(x, \zeta x)\,dx \\ f_2(\zeta) &= \int_0^1 \chi(x)\cdot\Phi_1(\zeta x, x)\,dx \end{aligned}\right\}. \tag{6}$$

Der Verlauf beider bekannten Funktionen f_1 und f_2 erstreckt sich auf dasselbe Intervall der Variablen $0 \leqq \zeta \leqq 1$.

In derselben Weise kann man die beiden Gleichungen (IV a) schreiben:

$$-\frac{\partial A_m}{\partial h_m} \cdot \frac{\pi_m}{0''2} \sqrt{\frac{h_m}{H_1}} = f_3(\zeta) = \int_0^1 \frac{\chi(\zeta x)}{f\left(\zeta x \sqrt{\frac{H_1}{h_n}}\right)} \cdot \Phi_1(x, \zeta x)\, dx, \tag{7}$$

wobei $\zeta = \sqrt{\frac{h_n}{h_m}}$ gesetzt worden ist und $m < n$.

Ebenso:

$$-\frac{\partial A_m}{\partial h_m} \cdot \frac{\pi_m}{0''2} \sqrt{\frac{h_n}{H_1}} = f_4(\zeta) = \int_0^1 \frac{\chi(x)}{f\left(x \sqrt{\frac{H_1}{h_n}}\right)} \cdot \Phi_1(\zeta x, x)\, dx, \tag{7*}$$

wo $\zeta = \sqrt{\frac{h_m}{h_n}}$ und $m > n$. In beiden Fällen ist also auch in den Gleichungen (7) $0 \leqq \zeta \leqq 1$. Die Funktion Φ_1 erfüllt nach (5) noch die Gleichung:

$$2 H_1 \int_0^1 \Phi_1\left(x, \varrho \sqrt{\frac{h_n}{H_1}}\right) x\, dx = 1.$$

Die vier Integralgleichungen (6) und (7) stellen die allgemeinste Lösung des gestellten Problems dar. In ihnen kommen die drei unbekannten Funktionen vor: χ, Φ_1 und

$$\Psi(x) = \frac{\chi(x)}{f\left(x \sqrt{\frac{H_1}{h_n}}\right)}$$

und außerdem noch $\frac{h_n}{H_1}$. Ob die Theorie der Integralgleichungen jetzt schon imstande ist, darüber etwas auszusagen, inwieweit eine Bestimmung der Unbekannten möglich ist und ob sie allgemeinere Sätze, die astronomisch von Bedeutung werden können, liefern kann, müssen die Mathematiker entscheiden. Indessen ist zu bemerken, daß wohl für absehbare Zeiten die vierte Integralgleichung (7*) unverwendbar bleiben muß, da die π_m für so schwache Größenklassen kaum bestimmbar sein werden.

Zunächst wird es sich aber zum Zwecke der wirklichen Anwendung der vorstehenden Formeln auf das Fixsternsystem empfehlen, die allgemeinen Ansätze zu spezialisieren und in dieser Richtung möglichst einfache Voraussetzungen zu machen. Da liegt nun eine Annahme sehr nahe, die ich bereits

in I gemacht habe, nämlich die, daß die Häufigkeitsfunktion $\varphi(i)$ die Entfernung r nicht enthält, mithin nur als Funktion der einen Variablen i anzusehen ist. Diese Annahme verdient jedenfalls zuerst eingehend verfolgt zu werden und sie soll nun auch dem Folgenden zu Grunde liegen. Dann ist $H = H_1$ eine Konstante, $F(r) = 1$, $\Phi(y, \varrho) = \varphi(y)$. Die Vereinfachungen, welche hierdurch die Hauptformeln (III) und (IV) erfahren, sind so leicht zu übersehen, daß die Formeln nicht erst umgeschrieben werden sollen. Es sei nur noch bemerkt, daß in (6) und (7)

$$\Phi_1(x) = \varphi(x^2 H)$$

wird. Die so vereinfachten Integralgleichungen habe ich in I zum Teil in noch weiter getriebener Spezialisierung nach einigen Richtungen diskutiert, indem teilweise von der Absorption abgesehen wurde, also $\psi(r) = 1$, $r = \varrho$ gesetzt worden ist. Diese Diskussion ist, wenigstens was die Gleichungen (III) oder (6) betrifft, auf die vorliegende erweiterte Form direkt übertragbar und soll hier nicht wiederholt werden. Es sei nur erwähnt, daß die mittleren Entfernungen ϱ_m selbstverständlich nicht unabhängig von der Lage des in Betracht gezogenen Himmelsteils sind, sich also mit der Lage zur Milchstraße ändern. Ferner wurde ein ganz spezieller Satz abgeleitet, der sich bei der tatsächlichen Anwendung als wichtig herausstellt. Hierauf soll hier eingegangen werden, da die Betrachtung sich einfacher und strenger gestalten läßt. Für die vereinfachten Annahmen gestalten sich die Formeln (6) und (7) so:

$$\left.\begin{aligned}
f_1(\zeta) &= \int_0^1 \chi(\zeta x)\,\Phi_1(x)\,dx \\
f_2(\zeta) &= \int_0^1 \chi(x)\,\Phi_1(\zeta x)\,dx \\
f_3(\zeta) &= \int_0^1 \Psi(\zeta x)\,\Phi_1(x)\,dx \\
f_4(\zeta) &= \int_0^1 \Psi(x)\,\Phi_1(\zeta x)\,dx
\end{aligned}\right\} \quad (8)$$

Die f sind bekannte, χ, Φ_1 und Ψ unbekannte Funktionen und ζ ist auf das Intervall $0 \leq \zeta \leq 1$ beschränkt, außerdem haben χ, Ψ und Φ_1 stets positive Werte. Der erwähnte Satz bezieht sich auf die erste Formel und sagt aus, daß wenn zufällig $\chi(x)$ die Form einer Potenz von x hat, für jedes Φ_1 auch f_1

dieselbe Form annehmen muß und umgekehrt, wenn $f_1(\zeta)$ eine Potenz von ζ ist, muß $\chi(x)$ ebenfalls eine Potenz von x sein. Der erste Satz ist selbstverständlich. Denn wenn:

$$\chi(x) = c \cdot x^\nu,$$

dann ist:

$$f_1(\zeta) = c\,\zeta^\nu \int_0^1 x^\nu \cdot \Phi_1(x)\,dx = \gamma \cdot \zeta^\nu.$$

Es sei umgekehrt $f_1(\zeta) = \gamma \cdot \zeta^\nu$, dann ist also:

$$\gamma\,\zeta^\nu = \int_0^1 \chi(\zeta x) \cdot \Phi_1(x)\,dx.$$

Wird nach ζ differentiert:

$$\nu\gamma\,\zeta^{\nu-1} = \int_0^1 \chi'(\zeta x) \cdot x\,\Phi_1(x)\,dx.$$

Es ist demnach:

$$0 = \int_0^1 [\nu\,\chi(\zeta x) - \zeta x\,\chi'(\zeta x)]\,\Phi_1(x)\,dx.$$

Führt man die Funktion σ ein:

$$\sigma(\xi) = \nu\,\chi(\xi) - \xi\,\frac{d\chi(\xi)}{d\xi},$$

so wird:

$$0 = \int_0^1 \sigma(\zeta x) \cdot \Phi_1(x)\,dx, \tag{9}$$

wobei also $\varphi_1(x)$ nur positive Werte hat. Es läßt sich nun beweisen, daß aus der letzten Gleichung $\sigma(\xi) = 0$ folgt. Dann gibt aber die Definitionsgleichung für σ:

$$\frac{d\chi}{\chi} = \nu \cdot \frac{d\xi}{\xi} \quad \text{oder} \quad \chi(\xi) = c\,\xi^\nu.$$

Hätte die Funktion $\sigma(\xi)$ innerhalb des Intervalls $0 \leq \xi \leq 1$ Werte vom selben Vorzeichen, dann müßte σ, da Φ_1 stets positiv sein soll, offenbar im ganzen Intervall Null sein. Hat im allgemeinen $\sigma(\xi)$ abwechselndes Vorzeichen in endlichen Intervallen, und dies ist die nötige Voraussetzung,

$$0 < \xi \leq \lambda_1$$

$$\lambda_1 \leq \xi < \lambda_2 \quad \text{etc.},$$

dann nehme man $\zeta = \lambda_1$. Die Gleichung (9) wird dann:

$$\int_0^1 \sigma(\lambda_1 x)\, \Phi_1(x)\, dx = 0.$$

Da nunmehr $0 \leqq \lambda_1 x \leqq \lambda_1$, hat $\sigma(\lambda_1 x)$ dasselbe Vorzeichen und es muß $\sigma(\xi)$ im ersten Intervall $= 0$ sein. Jetzt setze man $\zeta = \lambda_2$. Dann wird:

$$\int_0^1 \sigma(\lambda_2 x)\, \Phi_1(x)\, dx = 0 = \int_{\frac{\lambda_1}{\lambda_2}}^1 \sigma(\lambda_2 x)\, \Phi_1(x)\, dx.$$

$\lambda_2 x$ liegt nunmehr zwischen λ_1 und λ_2 und da in diesem Intervalle σ das gleiche Vorzeichen hat, muß es in diesem Intervalle verschwinden. Die Fortsetzung des Verfahrens ergibt also, daß $\sigma(\xi)$ im ganzen Intervall $0 \leqq \xi \leqq 1$ gleich Null sein muß.

Wendet man diesen Satz auf die Sternanzahlen A_m an, so ergibt sich: „Wenn $A_m = c h_m^{\frac{1-\nu}{2}}$, dann ist $\Delta(x) = \gamma \cdot x^{\nu-4}$ und umgekehrt."

Im speziellen wird der Satz im folgenden für $\nu = 4 + \lambda$ gebraucht und er sagt also aus, daß die Werte

$$A_m = c h_m^{\frac{\lambda-3}{2}} \text{ und } \Delta(x) = \gamma \cdot x^{-\lambda} \tag{10}$$

einander korrespondieren. Wenn also die Sternanzahlen A_m für $m < n$ durch die Formel (10) ausdrückbar sind, dann folgt eindeutig der angeführte Wert für Δ und zwar ganz unabhängig von dem Verlaufe der Funktion φ. Tatsächlich scheinen die Sternanzahlen dieser Bedingung ohne nachweisbare Abweichung zu folgen. Wenn aber $\Delta(\varrho) = \gamma \cdot \varrho^{-\lambda}$ ist, dann folgt aus (IV a), wenn keine Absorption stattfindet:

$$\frac{\pi_m}{0\rlap{.}''2} = \frac{\int_0^{\sqrt{\frac{H}{h_m}}} \varrho^{3-\lambda} \cdot \varphi(h_m \varrho^2)\, d\varrho}{\int_0^{\sqrt{\frac{H}{h_m}}} \varrho^{4-\lambda} \cdot \varphi(h_m \varrho^2)\, d\varrho} = \frac{h_m^{\frac{1}{2}} \int_0^{\sqrt{H}} x^{3-\lambda} \cdot \varphi(x^2)\, dx}{\int_0^{\sqrt{H}} x^{4-\lambda}\, \varphi(x^2)\, dx} = \Gamma h_m^{\frac{1}{2}} \tag{11}$$

d. h. dann sind die mittleren Parallaxen für Sterngrößen $m < n$ proportional der Wurzel aus den Helligkeiten. Solche Parallaxenwerte sollen „normale" heißen. Diese treten immer auf, wenn die Anzahlen A_m der Formel (10) entsprechen und keine Absorptionen stattfinden. Haben die mittleren Parallaxen

andere Werte, dann können nicht alle genannten Bedingungen bestehen. Diese Sätze stellen strenge mathematische Beziehungen dar. Folgt aber A_m nur mit mehr oder weniger großer Annäherung der ersten Gleichung (10), so brauchen nicht für jedes φ die zweite Gleichung (10) und die daraus folgende (11) mit entsprechender Annäherung erfüllt sein. Im Gegenteil ist zu erwarten, daß man innerhalb gewisser Grenzen gegebenen A_m und π_m durch passende Wahl von Δ und φ, auch ohne die Annahme einer Absorption machen zu müssen, genügen und also die Darstellung etwa gegebener π_m erzwingen kann. Das ist aber immer nur möglich, wenn die A_m für $m < n$ bemerkbar von der Formel (10) abweichen und wenn der Verlauf von φ gar keinen Beschränkungen unterliegt.

Im allgemeinen Fall gestatten, mathematisch gesprochen, die Abzählungen der Sterne also die Feststellung des Verlaufs der A_m bis zu sehr großen m, also sowohl für $m < n$ als auch für $m > n$, eine Bestimmung beider Funktionen Δ und φ. Denn aus den ersten beiden Gleichungen (8)

$$\left.\begin{aligned} f_1(\zeta) &= \int_0^1 \chi(\zeta x)\, \Phi_1(x)\, dx \\ f_2(\zeta) &= \int_0^1 \chi(x)\, \Phi_1(\zeta x)\, dx \end{aligned}\right\} \tag{12}$$

ist χ und Φ_1 bestimmbar, insoweit man die Sterngröße n angeben kann. Diese Bestimmung ist im allgemeinen nicht eindeutig, wie ich schon in I angegeben habe. Die Möglichkeit derselben beruht auf der Annahme endlicher Werte für H und die numerische Durchführbarkeit wird von der Sicherheit abhängen, mit der sich die genannte Eigenschaft von φ ausspricht. Man mag den Fall, daß $\varphi(H) = 0$ ist, als besonders wahrscheinlich betrachten. Die Kurve $y = \varphi(i)$ wird also die Abszissenachse im Punkte $i = H$ schneiden. Nun ist ersichtlich, daß man nur dann auf eine numerische Verwendbarkeit bei der Gleichung (12) rechnen wird können, wenn die Tangente der Kurve im Punkte $i = H$ eine wesentlich von Null verschiedene Neigung gegen die Abszissenaxe hat und natürlich auch der analytische Ausdruck für y, für größere i fortgesetzt, sehr kleine Werte hat. Darüber oder etwaige andere Kriterien kann man aber a priori kaum etwas aussagen, weshalb die praktische Brauchbarkeit von (12) zur gleichzeitigen Bestimmung von χ und Φ_1 dahingestellt bleiben muß.

Wie schon erwähnt worden ist, enthalten die Ausdrücke für A_m nur Δ und nicht die Dichtigkeit D. Man kann also die Dichtigkeit D nicht aus Ab-

zählungsresultaten allein bestimmen, vielmehr müssen dabei noch die mittleren Parallaxenwerte benutzt werden. Kennt man $\Delta(r)$, so ergibt sich aus (4), indem dort $F(r) = 1$ zu setzen ist:

$$D(r) = \frac{\psi(r) - \frac{1}{2} r \psi'(r)}{\psi^{\frac{5}{2}}(r)} \cdot \Delta\left(\frac{r}{\sqrt{\psi r}}\right). \tag{13}$$

Ist z. B. $\Delta(\varrho) = \varrho^{-\lambda}$, so wird:

$$D(r) = r^{-\lambda} \cdot \frac{\psi(r) - \frac{1}{2} r \psi'(r)}{\psi^{\frac{5-\lambda}{2}}(r)}.$$

und wenn man noch den einfachsten Fall der Absorption, die man dann als allgemeine Absorption bezeichnen kann, dadurch definiert, daß

$$\psi(r) = e^{-\nu r}$$

angenommen wird, dann ist:

$$D(r) = r^{-\lambda}\left(1 + \frac{\nu}{2} r\right) e^{\frac{3-\lambda}{2}\nu r}, \tag{14}$$

woraus sich ergiebt, daß selbst für relativ sehr kleine ν die Dichtigkeit D mit r überaus stark anwachsen muß. Denn λ wird sich als ein echter Bruch ergeben.

II.

Über die Verwertung der Formeln (III) in der früheren Abhandlung, wobei der Einfluß einer Absorption außer Betracht blieb, möge folgendes bemerkt werden.

Eine eingehende Bearbeitung der früher von mir gegebenen Abzählungsresultate der Bonner Durchmusterungssterne (B. D.) ergab für die A_m bis zu $m = 9.2$ der photometrischen Skala recht zuverlässige Werte. Ferner standen bei Ausarbeitung von I zur Disposition die „Sterneichungen" der beiden Herschel, welche die A_m für m gleich etwa 14 ergaben. Ich hatte das betreffende Material damals (1898) neu zusammengestellt und vervollständigt und Mittelzahlen für 9 Zonen, die nach der Milchstraße orientiert waren, gebildet. Diese 9 Zonen umfassen je 20 Grad galaktischer Breite vom Nordpol der Milchstraße an gezählt, so daß die Mitte der Zone V mit der als größter Kreis angesehenen Mittellinie der Milchstraße zusammenfiel. Diese Methode der Zusammenfassung halte ich auch jetzt noch für die empfehlenswerteste, da zur Einführung galaktischer Breiten das Material noch nicht ausreicht und voraussichtlich noch lange nicht ausreichen wird. Die Einführung von Inter-

polationsformeln, welche Funktionen der galaktischen Breite enthalten, dürfte deshalb kaum Vorteile darbieten und jedenfalls verfrüht sein, da sie nur über die vorhandenen Unsicherheiten hinwegtäuschen kann. Außerdem sind die Milchstraße und die scheinbare Verteilung der Sterne keineswegs so homogen und stetig verlaufend, um, wenigstens gegenwärtig, eine detailliertere Zusammenfassung zu rechtfertigen. — Mit dem von der B. D. gelieferten Material ergab sich, daß die nach der Formel

$$\log \alpha_m = \log A_m - \log A_{m-\frac{1}{2}}$$

gebildeten Zahlen α_m innerhalb jeder Zone für alle m zwischen 6 und 9 sehr nahe konstant waren und ziemlich gleichmäßig anwuchsen, wenn man von den Polen der Milchstraße ausgehend sich ihr näherte. Daraus ergab sich mit Hilfe des in § 1 (10) gegebenen Satzes, daß man die Abzählungsresultate ganz befriedigend durch die Annahme $D(\varrho) = \gamma \varrho^{-\lambda}$ darstellen konnte, wo λ von Zone I bis V und ebenso von Zone IX bis V regelmäßig abnahm. Diese Abnahme von λ mit der Annäherung an die Milchstraße spricht sich nicht in gleicher Weise bei den mit freiem Auge sichtbaren Sternen aus, worauf Herr Kobold aufmerksam machte, ist vielmehr durch andere Einflüsse verdeckt. Aus den Herschelschen Eichungen ergab sich, daß für sie die Formel (10) nicht mehr gilt. Es müssen also zwischen $m = 9.2$ und $m = 14$ andere Einwirkungen hinzugekommen sein, welche die aufgefundenen Regelmäßigkeiten im Verlaufe der Zahlen A_m vernichten. Diese können darin bestanden haben, daß die Raumerfüllung durch die Sterne in großen Entfernungen sich ziemlich rasch ändert und dann eine größere Einwirkung der speziellen Beschaffenheit der Häufigkeitsfunktion φ entstehen muß. Es lag aber nahe, diese Vorstellung mehr zu spezialisieren und anzunehmen, daß die Grenze des Sternsystems in diesen Regionen zu suchen ist, so daß n zwischen 9 und 14 und zwar näher an der zweiten Zahl zu liegen kommt. Denn die A_m zeigen ein verschiedenes Verhalten, je nachdem $m \lesseqgtr n$ ist und wie nach § 1 leicht zu übersehen ist. Im einzelnen konnte aber die Sachlage auf Grund der verfügbaren Daten nur mit Hilfe mehr oder weniger willkürlicher Annahmen verfolgt werden. Es schien mir aber zur Erläuterung der ganzen Betrachtungsmethode nützlich zu sein, beispielsweise eine Annahme vollständig durchzuführen. Als solche habe ich eine Annahme gewählt, die möglichst einfache algebraische Rechnungen erfordert, ohne damit auch nur das Mindeste darüber aussagen zu wollen, ob sie den tatsächlichen Verhältnissen nahe kommt. Diese Annahme war $\varphi(i) =$ const. innerhalb des Intervalls $0 < i < H$ und $\varphi(i) = 0$ außerhalb. Damit ergab sich das Resultat, daß das Sternsystem in der Richtung

der Milchstraße etwa doppelt so ausgedehnt ist, wie in der darauf senkrechten Richtung. Die hellsten Sterne erscheinen an der Grenze des Sternsystems als von der Größe 13 bzw. $11\frac{1}{2}$, was bei dem angenommenen Werte von H 1000 bzw. 500 Siriusweiten entspricht. Wenn auch alle Detailangaben auf den benutzten willkürlichen Annahmen, insbesondere auf dem angesetzten Wert von H beruhen und somit hypothetisch sind, so ergibt doch eine genauere Betrachtung, daß das ganze so gefundene Bild, wie sich das Sternsystem darstellt, in den wesentlichen Zügen durch die Unsicherheit der Hypothesen kaum gelitten hat. In mancher Richtung wird das Folgende eine Bestätigung dieser Auffassung bringen.

Das so erhaltene Bild des Sternsystems hatte ich als das „typische" bezeichnet. Es ist durch die Bemerkung entstanden, daß die Sternverteilung im großen und ganzen nicht von der galaktischen Länge abhängt und daß sie in nördlichen galaktischen Breiten angenähert so ist wie in südlichen. Ich habe es in I als eine Hauptaufgabe der Astronomie bezeichnet, zunächst dieses typische Bild mehr zu sichern und auszubauen. Die empirischen Daten erlauben auch jetzt noch nicht die von mir begonnenen Untersuchungen weiterzuführen und man muß sich mit weniger allgemeinen Resultaten begnügen, wenn man zu besser fundierten Ansichten gelangen will. Wie sich das typische Bild auf Mittelwerte der Zahlen A_m für die einzelnen Zonen I bis IX stützt, so kann man weitergehend die Mittelwerte der A_m und auch der π_m für den ganzen Himmel der Betrachtung zu Grunde legen. Es entsteht so ein „schematisches" Sternsystem, dem man also gewissermaßen kugelförmige Beschaffenheit, d. h. vollkommene Symmetrie nach allen Seiten zuschreibt. Seine Eigenschaften in Bezug auf Ausdehnung und Dichtigkeitsverteilung zu untersuchen, wird immerhin einiges Interesse darbieten, wenn man sich dabei auch bewußt bleiben muß, daß man sich dadurch noch mehr von den Tatsachen entfernt. Man gelangt auf diesem Wege nur zur Erkenntnis gewisser mittlerer Eigenschaften des Sternsystems, aber die zu Grunde liegenden empirischen Daten werden eine größere Sicherheit besitzen. In manchen Richtungen liegen Vorarbeiten überhaupt nur in diesem Sinne vor. Es soll zuerst Umschau gehalten werden, was man über die Funktion φ und über die für den ganzen Himmel gebildeten Mittelwerte der Sternanzahlen A_m aussagen kann.

III.

Da die Funktion φ in allen Teilen des Raumes, den das Sternsystem einnimmt, sich gleich verhalten soll, liegt der Versuch nahe, φ aus den bisher direkt gemessenen Parallaxen abzuleiten. Dieser Versuch ist in der Tat von

Herrn Comstock[1]) und von mir gelegentlich einer im Sommer 1903 gehaltenen Vorlesung gemacht worden.

Nennt man m_0 die Größe eines Sterns, dessen scheinbare Größe m und dessen Parallaxe π Sekunden ist, welche er in der Entfernung einer Siriusweite, entsprechend einer Parallaxe 0."2, haben würde, dann ist:

$$m_0 = m + 5 \log \left(\frac{\pi}{0.2}\right) = m + 3.495 + 5 \log \pi.$$

Ich habe nun vor 6 Jahren das mir zugängliche Material an Fixsternparallaxen sorgfältig gesammelt, die zugehörigen m_0 berechnet und die Anzahlen A der Sterne innerhalb von Intervallen von zwei Größenklassen in m_0 ermittelt. Parallaxenwerte < 0."02 wurden dabei als völlig illusorisch fortgelassen. Es blieben dann 112 Einzelwerte übrig, die sich nach Maßgabe der Zahlen A in folgender Tabelle verteilten.

$m_0 - 1$	$m_0 + 1$	A	A'	A_1	A_1'
8.0	10.0	10	11	—	—
6.0	8.0	16	30	—	—
4.0	6.0	30	70	29.4	71
2.0	4.0	25	57	23.2	55
0	2.0	15	40	17.1	39
— 2.0	0	10	20	10.9	23
— 4.0	— 2.0	5	7	4.8	6
—4.6		1	0	0.1	0

Die Zahlen A sind proportional mit

$$\int_{m_0+1}^{m_0-1} \varphi(m)\, d\, m,$$

woraus auf den Verlauf von $\varphi(m)$ geschlossen werden kann.

Man erreicht dies im vorliegenden Falle durch eine einfache Interpolationsformel. Indessen würden nur Täuschungen hervorgerufen werden, wollte man durch eine solche Formel alle vorhandenen A zusammenfassen. Bisher wurden in der Hauptsache nur hellere Sterne und außerdem prozentualiter jedenfalls viel weniger schwache Sterne mit großer Eigenbewegung auf Parallaxe untersucht und es ist also klar, daß bisher die Sterne mit verhältnismäßig großer Leuchtkraft bevorzugt worden sind. Nun wachsen die Zahlen A in der obigen Tabelle, von unten nach oben verfolgt, stark an und man wird

[1]) The luminosity of the fixed stars. Astronomical Journal No. 597, Aug. 1907.

annehmen dürfen, daß dieses Anwachsen bei Vermehrung des Materials vielleicht noch vergrößert werden wird. Dagegen wird man das Abnehmen der A für $m_0 > 6$ in keiner Weise als reell anzusehen brauchen. Beschränkt man sich aber auf den ersten offenbar noch gesicherten Teil der Kurve, durch welche $\varphi(m)$ dargestellt wird, dann ergibt sich für Werte $m_0 < 6$ etwa:

$$\varphi(m_0) = 7.0\,(1 + 0.22\,m_0). \tag{1}$$

Nach dieser Formel sind die Zahlen A_1 gerechnet, die sich vollkommen befriedigend an die Zahlen A anschließen.

Seitdem ich diese Formel aufgestellt hatte, hat sich das publizierte Material an besser bestimmten Parallaxen erheblich vermehrt. Die vollständige Zusammenstellung verdankt man, wie schon erwähnt, Herrn Comstock, aus der für 235 Sterne die in der obigen Tabelle enthaltenen A' leicht zu entnehmen sind. Herr Comstock führt, abweichend von meiner Bezeichnung, die Leuchtkraft L eines Sternes ein, die so definiert ist: L ist die scheinbare Helligkeit eines Sternes, wenn derselbe aus einer der Parallaxe π entsprechenden Entfernung in eine solche, die durch $\pi = 1''$ gegeben ist, versetzt wird, wobei $L = 1$ die Helligkeit der Sonne ist, falls dieselbe die Parallaxe $\pi = 1''$ hätte. Danach wird also für einen Stern von der scheinbaren Größe m

$$\log L = 0.150 - 0.4\,m - 2\log\pi$$

und das von mir benutzte m_0 hängt mit dem von Herrn Comstock benutzten L durch die Formel zusammen:

$$m_0 = -\tfrac{5}{2}\log L + 3.87.$$

Für die A' gelten dieselben Bemerkungen, die über die A gemacht worden sind. Für kleinere m_0 bis etwa $m_0 = 6$ wird für $\varphi(m_0)$ wiederum ein linearer Ansatz vollständig genügen. Aus mehr zufälligen Gründen habe ich nach einigen Versuchen angesetzt:

$$\varphi(m_0) = 15.55\,(1 + 0.266\,m_0 - 0.002\,m_0^2).$$

Mit diesem $\varphi(m_0)$ wurden nun die Zahlen A_1' berechnet, wobei darauf Rücksicht genommen worden ist, daß $\varphi(m_0)$ immer positiv bleiben muß. Die Übereinstimmung ist den Umständen entsprechend als sehr gut zu bezeichnen, auch das etwas größere Wachstum von $\varphi(m_0)$ für die kleinsten Werte von m_0, welches vorauszusehen war, ist angedeutet. Für Werte von m_0 aber, die größer als 6 sind, bleibt, da diese ganz unberücksichtigt geblieben sind, der Verlauf von φ ganz unbekannt. Für kleinere m_0 dagegen wird, da das wesentlich

vermehrte Material kaum eine Änderung ergeben hat, angenommen werden dürfen, daß tatsächlich $\varphi(m_0)$ nahezu durch eine lineare Funktion dargestellt wird. Nach der letzten Formel wird $\varphi(m_0) = 0$ für $m_0 = -3.62$ bzw. -3.76, je nachdem das quadratische Glied mitgenommen wird oder nicht. Ich habe in den folgenden Rechnungen -3.62 genommen. Große Sicherheit wird man diesem Wert nicht zuerkennen, was natürlich nicht außer acht gelassen werden darf.

Trotz der Vorsicht, mit der man die Sicherheit der erhaltenen Resultate zu beurteilen haben wird, wird es sich doch lohnen, mit dem gefundenen linearen Ausdruck für $\varphi(m_0)$ die Rechnungen durchzuführen, selbst wenn man diesen Rechnungen nur eine informatorische Bedeutung zuerkennen will. Und das soll später in der Tat geschehen. Aus der Funktion $\varphi(m_0)$ erhält man die Häufigkeitsfunktion $\varphi(i)$ aus der Gleichung

$$\varphi(i)\,di = -\varphi(m_0)\,dm_0$$

und da die rechtsstehende Funktion linear also

$$\varphi(m_0) = A + B\,m_0$$

ist und außerdem $-C \log i = m_0$, so findet man:

$$\varphi(i) = (A + B\,m_0)\frac{C}{i} = (A - C_1 \log i)\frac{C}{i}.$$

Hier werden A, C und C_1 positive Konstanten sein. Man kann diesen Ausdruck für $\varphi(i)$ offenbar auch schreiben:

$$\varphi(i) = \Gamma \cdot \frac{H}{i} \log \frac{H}{i}.$$

Die Konstante Γ läßt sich nicht bestimmen, da nur ein bestimmter endlicher Teil der Kurve als reell betrachtet wird. H ist die Helligkeit, für welche $\varphi(H) = 0$ wird und entspricht also dem obigen Werte -3.62 in Größenklassen ausgedrückt. Den letzten Ausdruck für $\varphi(i)$ hat, wie ich zu bemerken nicht unterlassen darf, bereits Herr Comstock, a. a. O. aufgestellt.

Bei oberflächlicher Betrachtung scheint eine Bestimmung des Verlaufs von i, die auf das angegebene Intervall beschränkt ist, wenig Wert zu haben. Nun läßt sich aber zeigen, daß die erlangte Kenntnis, insoweit sie nur genügend verbürgt erscheint, ausreicht, um sowohl die Anzahlen A_m als auch die Parallaxen π_m bis zu Sternen der 17. oder 18. Größe herab mit fast ganz ausreichender Genauigkeit anzugeben. Diese Tatsache ist in der Tat sehr wichtig und wird im folgenden demgemäß genügend behandelt werden. Die allgemeinere Bedeutung dieser Tatsache ist schon in den einleitenden Bemerkungen hervorgehoben worden.

IV.

Mit hinlänglicher Genauigkeit sind gegenwärtig die Anzahlen A_m wohl nur bis etwa $m = 9$ angebbar und zwar eigentlich nur für den nördlichen Himmel. Denn für den südlichen Himmel ist das vorliegende Material noch nicht vollständig, und was die hellen Sterne betrifft, auch nicht einwandfrei. In zwei Abhandlungen[1]) hatte ich mir die Aufgabe gestellt, im Bereiche der Bonner Durchmusterung die A_m in ihrer Abhängigkeit von der Lage der betrachteten Gegend zur Milchstraße festzustellen. Diese Aufgabe hat sich als eine ziemlich verwickelte gezeigt, wenn es sich um einigermaßen genaue Werte handeln soll, weil die Helligkeitsschätzungen der Durchmusterung mit größeren zufälligen, namentlich aber auch systematischen Fehlern behaftet sind. Der Feststellung der Anzahlen A_m muß also eine eingehende Untersuchung dieser Fehler vorangehen. Das letztere geschah in der Arbeit (*a*), das zweite in der Arbeit (*b*). Indessen zeigte sich dabei, daß die Feststellung der Zahlen A_m für die mit freiem Auge sichtbaren Sterne nicht mit genügender Sicherheit vorgenommen werden kann, da hier die Fehler der Schätzungen in der B. D. in der Tat nicht mit der erforderlichen Genauigkeit festgestellt werden können, so daß in der Hauptsache die B. D. nur im Intervall $m = 6$ bis $m = 9$ einwandfreie Resultate gibt. Für die hellen Sterne ist nun aber seitdem (1898) eine Abhilfe geschaffen, indem vollständige photometrische Verzeichnisse dieser Sterne erschienen sind. Es ist die 1901 erschienene Arbeit des Herrn Pickering[2]) und die große Potsdamer photometrische Durchmusterung, die die Feststellung der A_m bis zu $m = 7.0$ erlauben wird. In definitiver Reduktion ist das letzte Werk erst vor kurzem erschienen. Die Abzählungen für die einzelnen Zonen sind mit Umständlichkeiten verbunden und konnten noch nicht ausgeführt werden.

Herr Pickering hat selbst die Ermittlung der Anzahlen A_m auf Grund seiner Kataloge vorgenommen.[3]) Hier kommen nur die auf den ganzen Himmel bezüglichen in Frage. Die von ihm gegebenen Abzählungen der Anzahlen der Sterne bis zur Größe 6.75 bilden sicherlich einen schätzenswerten Beitrag; er beschränkte sich aber nicht auf die Diskussion dieser Abzählungen, sondern gab auch die Anzahlen A_m bis zu $m = 13.5$. Seine endgültigen Werte, die

---

[1]) (a) Über die Größenklassen der teleskopischen Sterne der Bonner Durchmusterungen. Sitzungsberichte der Münchener Akademie, März 1898.

(b) Zur Verteilung der Fixsterne am Himmel. Ebenda, Dezember 1899.

[2]) A photometric Durchmusterung. Annalen der Harvard-Sternwarte XLV. Wird im folgenden mit P_{II} bezeichnet.

[3]) Distribution of stars. Harvard Annals, XLVIII No. 5.

durch Interpolationen und Ausgleichungen gewonnen sind, sind aber nicht nur als unsicher sondern auch als nichtzutreffend anzusehen. Auf die Art, wie Herr Pickering die Abhängigkeit der A_m von der Lage zur Milchstraße untersucht, braucht nicht näher eingegangen zu werden, da es genügt, auf meine oben zitierten Arbeiten hinzuweisen.

Auch sollen hier nur die für den ganzen Himmel genommenen Anzahlen A_m in Frage kommen. Zunächst ist nun zu bemerken, daß es sich bei genaueren Festsetzungen, die hier möglich sind, empfehlen dürfte, für die hellen Sterne nicht die Zahlen für den ganzen Himmel zu nehmen, sondern nur die Sterne auf der nördlichen Hemisphäre zu berücksichtigen, denn nur dann sind die so gewonnenen Resultate mit denen, die aus der B. D. folgen, zu vergleichen. Auch dürften die photometrischen Festlegungen an südlichen Sternen, die von Herrn Pickering benutzt worden sind, nicht die gleiche Sicherheit besitzen. Was das aus der B. D. fließende Material betrifft, das allein die Zahlen A_m für m zwischen 6 und 9 bestimmt, so hat Herr Pickering meine Untersuchungen gänzlich ignoriert und deshalb sind seine Zahlen für genauere Feststellungen nicht zu gebrauchen. Ich habe gezeigt, daß sich die A_m aus der B. D. bis zu $m = 9.2$ feststellen lassen. Herr Pickering geht aber viel weiter, indem er alle in der B. D. vorkommenden Sterne einbezieht und einfach festsetzt, daß, wie photometrische Beobachtungen ergeben haben, im Durchschnitt die Größen 9.5 der B. D. gleich sind 10.65 der photometrischen Skala. Es soll also die Zahl der in der B. D. überhaupt enthaltenen Sterne gleich sein der Zahl der Sterne $A_{10.65}$. Nun ist aber allgemein bekannt, daß die B. D. nur die Sterne bis etwa zur 9.2 Größe (photometrisch) ziemlich vollständig anführt und die schwächeren ganz unvollständig sind. Herr Pickering muß also für $m > 9.2$ gänzlich falsche A erhalten und zwar zu kleine.

Nicht geringere Bedenken stellen sich den Resultaten gegenüber, die Herr Pickering in Bezug auf die schwachen Sterne von der 10. oder 11. Größe herab anführt. Die Zahlen beruhen auf Abzählungen von Karten, die Herr Hagen für die Umgebungen von veränderlichen Sternen gezeichnet hat. Abgesehen von allem anderen, dürfte der Schluß kaum als ausreichend betrachtet werden können, der von 1600 abgezählten Sternen auf 4—5 Millionen, die Herr Pickering für $A_{13.5}$ angibt, führt. Herr Pickering hat übrigens seine Einzelresultate durch graphische Ausgleichungen zu verbinden gesucht. Ich glaube aber nicht, daß man diese Ausgleichung bei näherer Betrachtung anders als fast vollständig willkürlich ansehen wird können. Danach dürfen die Resultate des Herrn Pickering bei allen strengeren Untersuchungen nicht benutzt werden. Den vorstehenden Bemerkungen gemäß habe ich deshalb

die nördlich vom Äquator stehenden Sterne nach P_{II} von neuem abgezählt und gefunden:

m	A_m	$\log A_m$	$\log \alpha_m$
1.5	11	1.041	0.214
2.00	18	1.255	0.301
2.50	36	1.556	0.257
3.00	65	1.813	0.212
3.50	106	2.025	0.308
3.75	151	2.179	0.243
4.25	264	2.422	0.264
4.75	485	2.686	0.286
5.25	938	2.972	0.261
5.75	1710	3.233	0.248
6.25	3030	3.481	0.256
6.75	5457	3.737	

(1)

In der Reihe der $\log \alpha_m = \log A_m - \log A_{m\frac{1}{2}}$ wird man gewiß nicht eine fortschreitende Veränderung erblicken können. Da vor kurzem der Potsdamer Generalkatalog erschienen ist, kann ich hier, ohne das Material weiter zu bearbeiten, einen Vergleich mit den zuletzt angeführten Pickeringschen Werten herstellen. Die nötigen Abzählungen, bei denen alle Variablen fortgelassen worden sind, hat Herr cand. math. Georg Schwarz ausgeführt und aus ihnen ergab sich nach der Potsdamer Durchmusterung:

	A_m	$\log A_m$	$2 \log \alpha_m$
$m < 2.00$	10	1.000	0.663
$m = 3.00$	46	1.663	0.590
4.00	179	2.253	0.512
5.00	582	2.765	0.511
6.00	1889	3.276	0.501
7.00	5990	3.777	

Eine Erklärung der Abweichungen für $m < 3.00$ zwischen Potsdam und Pickering mag hier nicht versucht werden. Bei so kleinen Zahlen A, wie sie hier auftreten, wird man auf sie kein großes Gewicht legen. Im allgemeinen stimmen dann die beiderseitigen Resultate befriedigend überein, wenn man die Potsdamer Größen auf P_{II} reduziert. Nach Band XVII der Potsdamer Publikationen ist Potsdam — P_{II} etwa $0\overset{m}{.}16$ anzusetzen. Um also auf P_{II} zu reduzieren, hat man die $\log A_m$ um 0.082 etwa zu vermehren. So ergibt sich die Gegenüberstellung:

m	Potsd.	P_{II}
3.00	1.745	1.813
4.00	2.335	2.301
5.00	2.847	2.829
6.00	3.358	3.357
7.00	3.859	3.865

In der oben (S. 23) zitierten Abhandlung (b), S. 390, habe ich die Korrektionen abgeleitet, welche an die Logarithmen der Sternzahlen für die einzelnen Zonen I—VIII, insoweit sie in der nördlichen B. D. vertreten sind, anzubringen sind Es erfordert nur eine einfache Rechnung, hieraus die Anzahlen A_m für den ganzen nördlichen Himmel abzuleiten. Es ergibt sich so:

m	$\log A_m$
6.5	3.578
7.5	4.093
9.2	4.967

(2)

Der Anschluß dieser als homogen zu betrachtenden Wertreihe an die aus P_{II} gewonnene (1) ist nicht ganz befriedigend und es wird sich lohnen, nach einer Aufklärung zu suchen. Man erhält nämlich:

$$\log A_{6.75} = 3.707 \text{ aus B. D.}$$
$$\log A_{6.75} = 3.737 \text{ aus } P_{II}.$$

Um einen Beitrag zur Aufklärung der Differenz in $\log A_{6.75}$

$$P_{II} - \text{B. D.} = +0.030$$

zu erhalten, wird zuerst auf einen Umstand hinzuweisen sein, der gewöhnlich übersehen wird, den ich aber bereits in (b) berücksichtigt habe.

Infolge der Ungenauigkeit der photometrischen Messungen werden die durch direkte Abzählungen gefundenen A_m fehlerhaft und zwar zu groß sein, weil eine vollkommene Kompensation der Messungsfehler nicht eintreten kann infolge des Umstandes, daß die A_m stark mit m anwachsen. Schwächere Sterne als die von der festgesetzten Größe m_0 werden heller als m_0 geschätzt und umgekehrt hellere Sterne werden schwächer als von der Größe m_0 angegeben. Die Anzahl I der ersteren muß von der abgezählten Anzahl A'_{m_0} subtrahiert, die Anzahl II der letzteren muß addiert werden, um die richtige Anzahl A_{m_0} zu bekommen. Es ist also:

$$A_{m_0} = A'_{m_0} - \text{I} + \text{II}$$

Es sei nun $c_m \cdot dm$ die Anzahl der Sterne, die faktisch zwischen den Größen m und $m + dm$ liegen. Ferner folgen die bei photometrischen Messungen

gemachten Messungen einem Fehlergesetz $\varphi(\varDelta)$, wo immer $\int\limits_{-\infty}^{+\infty} \varphi(\varDelta)\, d\varDelta = 1$ angenommen werden kann. Man findet dann sofort:

$$\mathrm{I} = \int\limits_{m_0}^{\infty} c_m\, \varphi(m - m_0)\, dm$$

$$\mathrm{II} = \int\limits_{-\infty}^{m_0} c_m\, \varphi(m - m_0)\, dm.$$

Nun ist die näherungsweise Giltigkeit des Gaußschen Fehlergesetzes für viele Beobachtungen der betrachteten Art erfahrungsmäßig festgestellt. Man kann also mit einiger Berechtigung setzen:

$$\varphi(\varDelta) = \frac{h}{\sqrt{\pi}}\, e^{-h^2 \varDelta^2}.$$

Ferner ist, zum mindesten sehr nahe:

$$\log \frac{A_m}{A_{m_0}} = c \cdot (m - m_0),$$

wo $c = 0 \cdot 512$ angenommen werden kann. Nennt man also $\varepsilon = 0.434\ldots$, so wird

$$A_m = A_{m_0} \cdot e^{\frac{c}{\varepsilon}(m - m_0)}$$

und daraus folgt:

$$c_m = \frac{dA_m}{dm} = A_{m_0} \cdot \frac{c}{\varepsilon} \cdot e^{\frac{c}{\varepsilon}(m - m_0)}.$$

Es ist also:

$$\mathrm{I} = A_{m_0} \frac{ch}{\varepsilon\sqrt{\pi}} \int\limits_{m_0}^{\infty} e^{\frac{c}{\varepsilon}(m - m_0) - h^2 (m - m_0)^2} \cdot dm$$

$$\mathrm{II} = A_{m_0} \frac{ch}{\varepsilon\sqrt{\pi}} \int\limits_{-\infty}^{m_0} e^{\frac{c}{\varepsilon}(m - m_0) - h^2 (m - m_0)^2} \cdot dm.$$

Dieses Resultat kann man auch schreiben:

$$\mathrm{I} = A_{m_0} \frac{c}{\varepsilon\sqrt{\pi}} \cdot e^{\frac{c^2}{4h^2\varepsilon^2}} \int\limits_{-\frac{c}{2h\varepsilon}}^{\infty} e^{-y^2} dy$$

$$\mathrm{II} = A_{m_0} \frac{c}{\varepsilon\sqrt{\pi}} \cdot e^{\frac{c^2}{4h^2\varepsilon^2}} \int\limits_{\frac{c}{2h\varepsilon}}^{\infty} e^{-y^2} dy.$$

Setzt man also:

$$\left.\begin{aligned} \nu &= \frac{c}{2h\varepsilon} \\ A'_{m_0} &= A_{m_0}\left[1 + \frac{2c}{\varepsilon\sqrt{\pi}} \cdot e^{\nu^2}\int_0^\nu e^{-y^2}dy\right] \end{aligned}\right\}. \qquad (4)$$

so wird:

Führt man den mittleren Fehler μ an Stelle von h ein:

$$\frac{1}{h} = \mu\sqrt{2},$$

so wird:

$$\nu = \frac{c\mu}{\varepsilon\sqrt{2}}.$$

Ist schließlich ν genügend klein, so ergibt sich als Näherungsformel:

$$A_{m_0} = A'_{m_0}\left(1 - \frac{2c\nu}{\varepsilon\sqrt{\pi}}\right) = A'_{m_0}\left(1 - \frac{c^2\sqrt{2}}{\varepsilon^2\sqrt{\pi}} \cdot \mu\right).$$

Die so definierten Korrektionen sind im allgemeinen keineswegs zu vernachlässigen, insbesondere wenn es sich um genauere Ermittlungen handelt, die doch gerade photometrische Kataloge ergeben sollen. Die Ermittlung von μ, das sich auch mit der Größe m ändern wird, hat also nicht bloß den Wert, die Genauigkeit der Beobachtungen kennen zu lernen.

Mit dem obenerwähnten Wert $c = 0.512$, $\nu = 0.845\,\mu$ ergibt sich:

$$A_{m_0} = A'_{m_0}\,(1 - 1.109\,\mu). \qquad (5)$$

Für die Potsdamer Durchmusterung darf man im Mittel μ zu 0.056 ansetzen. Dann folgt:

$$\log A_{m_0} = \log A'_{m_0} - 0.028.$$

Noch eine andere, allerdings überaus geringfügige Korrektion ist anzubringen. Die photometrischen Kataloge (Potsdam, Pickering) geben die Größen auf zwei Dezimalstellen. Man kann annehmen, daß also z. B. $A_{7.0}$ alle Sterne nicht bis zur Größe 7.00, sondern bis 7.005 enthält, denn erst wenn die Größe 7.006 wird, wird sie als 7.01 notiert. Danach muß also der Logarithmus der abgezählten Anzahl A'_{m_0} um $\frac{1}{200} \times 0.512 = 0.003$ verkleinert werden. Es wären also die nach der Potsdamer Durchmusterung abgezählten Werte im Logarithmus um $-0.028 - 0.003 = -0.031$ zu korrigieren. Für $\log A_{6.75}$ würde aus Potsdam folgen $3.731 - 0.031 = 3.700$, also so nahe überein-

stimmend mit dem aus B. D. hervorgehenden 3.707, wie nur gewünscht werden kann und nach der Unsicherheit der Reduktion kaum erwartet werden konnte. Man wird daraus einen Beweis dafür ableiten, daß meine aus B. D. abgeleiteten Werte für die log A_m sehr nahe richtig sein müssen. Denn die Unsicherheit bei ihrer Aufstellung erstreckte sich bei dem komplizierten Reduktionsverfahren hauptsächlich auf die absoluten Werte der Logarithmen, während die log α kaum davon alteriert werden dürften. Um demnach die Reihe (1) an die Werte (2) anzuschließen, ist man berechtigt, die log A_m in (1) um — 0.030 zu korrigieren und die Zulässigkeit dieser Korrektion dürfte bis auf kleine Restbeträge, die gegenwärtig unkontrollierbar sind, durch die ausgeführten Betrachtungen erwiesen sein. Aus der Notwendigkeit dieser Korrektion folgt noch nicht, daß μ bei P_{II} denselben Betrag hat, wie in Potsdam, obwohl sich auch gegen diese Annahme nichts Wesentliches einwenden ließe, solange nicht umfangreiche Rechnungen ausgeführt sind. Vielmehr können auch konstante Differenzen in den Größenangaben der drei Kataloge, P_{II}, H. R. und Potsdam, von ganz wenigen hundersteln Größen, die in beiden bis jetzt ausgeführten Vergleichungen nicht konstatiert werden konnten, vorhanden sein.

Meine Angaben (2) basieren, wie noch einmal erwähnt werden mag, auf dem System der Harvard-Revision. Ich werde eine passende Auswahl aus den Werten (1) und dann die Reihe (2) weiter unten zusammenstellen. Wie schon oben konstatiert wurde, sollen die A_m mit 2 multipliziert werden. Ich werde demnach den log A_m in (1) 0.301 — 0.030 = 0.271 und log A_m in (2) 0.301 hinzufügen.

Für die analogen Anzahlen A_m für schwächere Sterne als von der Größe 9.2 liegt auch heute nur noch ein ziemlich spärliches Material vor, wenn von den Sterneichungen der beiden Herschel abgesehen wird, die ich auch in I benutzt habe. Man darf also nicht erwarten, diese Anzahlen mit einer Sicherheit zu bestimmen, die auch nur entfernt an die heranreicht, die für die helleren Sterne durch die vorstehenden Zusammenfassungen erreicht worden ist. Indessen ist es doch unter allen Umständen von hohem Interesse, weitere Daten abzuleiten, auch wenn dieselben nur eine gewissermaßen provisorische Gültigkeit beanspruchen können. Dies ist nun ermöglicht durch die vielfachen Abzählungen schwacher und schwächster Sterne, die neuerdings Herr Kapteyn [1]) veröffentlicht hat.

Herr Kapteyn selbst überschätzt wohl kaum die Zuverlässigkeit des von ihm mit so großem Fleiße zusammengebrachten Materials. Sicherlich genügt

[1]) Publications of the astronomical laboratory at Groningen, No. 18, 1908.

es nicht, um bis etwa $m = 15$ die mittleren Anzahlen auf einem Quadratgrad und noch weniger die Abhängigkeit dieser Zahlen von der galaktischen Breite mit einer genügenden Sicherheit festzustellen, um daraus Verteilungsgesetze abzuleiten. Denn diese geforderte Sicherheit ist, wie die vorstehenden Bemerkungen gezeigt haben dürften, nicht unerheblich und es dürfen nur ganz wenige Einheiten der zweiten Dezimale in den log A_m zweifelhaft bleiben. Auch der Umstand, daß Herr Kapteyn mit großem Aufwand von Arbeit die gewonnenen Zahlen durch Interpolationsformeln darzustellen unternommen hat, dürfte nicht ganz entsprechen. Denn hierdurch werden, wie schon erwähnt wurde, etwaige Gesetzmäßigkeiten verwischt, deren Aufdeckung erfolgen soll, auch verleiten solche Formeln zu ihrer Anwendung weit über das Intervall hinaus, für welche sie abgeleitet worden sind, während dort in den meisten Fällen die Resultate solcher Extrapolationen gar keine Beziehung zu den tatsächlichen Verhältnissen mehr haben. Indessen lassen die Zahlen Herrn Kapteyns die zwei von mir in I ausgesprochenen Gesetze deutlich erkennen: 1. (S. 576) Die Anzahl der Sterne wächst mit der Größe beträchtlich langsamer, als eine gleichförmig räumliche Verteilung von Sternen mit gleicher Leuchtkraft erfordert. 2. (S. 579) Die Zahl der Sterne nimmt mit der Sterngröße immer stärker zu, je näher die betrachtete Himmelsgegend der Milchstraße ist.

Ich beschränke mich hier, wie schon gesagt, auf die Anzahl der Sterne A_m am ganzen Himmel. Die Einschränkung, daß, wie bisher, nur Sterne am nördlichen Himmel genommen und ihre Zahl mit 2 multipliziert wird, ist hier nicht mehr durchführbar, aber im wesentlichen habe ich doch nur solche Sterne herangezogen, soweit dies möglich war, ohne die Sicherheit der Resultate gar zu sehr zu gefährden. Es wird sich nur darum handeln, Daten zu beschaffen, die zeigen können, ob sich die von mir vertretenen Ansichten mit ihnen vereinigen lassen oder ob dies nicht der Fall ist. Es wird sich zeigen, daß das erstere zutrifft.

Die von Herrn Kapteyn ausgeführten Abzählungen erlauben nun in der Tat, diese Daten herbeizuschaffen. Allerdings bleibt man im ungewissen, welche Zuverlässigkeit diese besitzen. Ich habe aber aus verschiedenen Gründen nur eine beschränkte Auswahl aus den Kapteynschen Abzählungsresultaten benutzt und auch diese in anderer Gruppierung. Zuerst habe ich die einzelnen Felder nach den von mir benutzten, nach der Milchstraße orientierten Zonen im Mittel vereinigt und daraus dann die Zahlen A_m abgeleitet. Was die Fortlassungen betrifft, so sind diese nicht nur von dem Gesichtspunkte aus beurteilt worden, daß Sterne nördlich vom Äquator bevorzugt werden sollten. Alle mit Hilfe der südlichen B. D. gewonnenen Abzählungen habe ich auch deshalb fort-

gelassen, weil die photometrischen Feststellungen hier sich nach meinen Erfahrungen nicht mit genügender Sicherheit — wenigstens gegenwärtig — machen lassen. Die Felder Nr. 101 bis 120 blieben fort, weil diese ausschließlich sehr südliche Deklinationen haben und außerdem, weil Herr de Sitter sehr abweichende Skalen für die photometrisch bestimmten Größen in Gegenden der Milchstraße und fern von ihr gefunden hat, was ohne nähere Aufklärung die Resultate als zweifelhaft erscheinen lassen muß. Die sich auf die Größen 12—14 beziehenden Felder habe ich fortgelassen, weil in dieses Intervall zum Teil die Grenzgröße n fällt oder fallen könnte und eine Sonderung nicht ohne präokkupierende Hypothese gemacht werden kann. Außerdem liegen die Herschelschen Sterne an der Grenze dieses Intervalls und diese geben ein sicheres Resultat. Es blieben so 76 Gegenden übrig und außerdem die so wichtigen Herschelschen Sterneichungen. Hat man die Sternanzahlen δ auf einem Quadratgrad für verschiedene Größen m, so fragt es sich, wie die Mittelbildung zu erfolgen hat. Sind die einzelnen m, die zu einem Mittelwert verbunden werden sollen, nur wenig voneinander verschieden, so liegt kein Bedenken vor, dem arithmetischen Mittel des δ das arithmetische Mittel des m zuzuordnen. Sind aber die einzelnen m sehr verschieden, dann würde es besser sein, die arithmetischen Mittel der $\log \delta$ dem Mittelwert von m entsprechen zu lassen, wenn natürlich die δ nicht zu klein und nicht allzusehr verschieden ausfallen. Denn bis zu $m = 12$ etwa ist der $\log \delta$ proportional mit m und darüber hinaus ist innerhalb nicht sehr großer Intervalle ein ähnliches Verhalten näherungsweise zu erwarten. Es ist deshalb wohl ein kombiniertes Verfahren am zweckmäßigsten. In der Tat habe ich innerhalb Differenzen von 0.5 Größen das arithmetische Mittel des δ genommen, dann aber die Logarithmen dieser Mittelwerte mit Rücksicht auf die Gewichte im Mittel vereinigt. Es wird keiner Rechtfertigung bedürfen, daß die Ausdehnung der einzelnen Stellen nicht durch Anbringung von Gewichten berücksichtigt worden ist.

Die Zusammenfassung der Sterne von der Größe 10.0 bis 12.0 in der angedeuteten Weise ergab:

Γ	Zone	m	$\log \delta$	α	red.	$\log F_{11.16}$	$\log f$	$\log A$
15	V	11.01	1.910	0.53	+ 0.080	1.990	3.855	5.845
13	IV u. VI	11.16	1.541	0.53	0	1.541	4.129	5.670
7	III u. VII	11.37	1.471	0.50	− 0.105	1.366	4.040	5.406
18	II u. VIII	11.39	1.571	0.46	− 0.106	1.465	3.855	5.320
1	I u. IX	10.15	0.690	0.41	+ 0.414	1.104	3.396	4.500
Summe 54								für $m = 11.16$, $\log A = 6.221$

Γ gibt die Zahl der benachbarten Gegenden, der Wert α wurde meinen früheren Arbeiten gemäß benutzt zur Reduktion „red.", f ist Anzahl Quadratgrade, die die betreffende Zone enthält.

Zur Vergleichung sei angeführt, daß die Mitnahme der Cap-de Sitterschen Sterne aus 64 Gegenden auf dieselbe Weise reduziert ergab:

$$\text{für } 11^{m}00, \ \log A = 6.135,$$

also ein fast (bis auf vier Einheiten der letzten Stelle) genau mit dem früheren übereinstimmendes Resultat. Hierbei wurde den Angaben des Herrn Kapteyn entsprechend die Größe um -0.10 am Pol der Milchstraße und um $+0.09$ in ihr korrigiert. Es scheint, daß die aus sieben Gegenden stammende, den Zonen III und VII zugehörigen δ zu klein sind, da δ für die nächstfolgende Zone zunimmt, während es abnehmen sollte und deshalb wird auch der abgeleitete Logarithmus für A voraussichtlich etwas zu klein sein.

Das zweite Resultat bezieht sich auf Sterne, für die $m \geqq 14.0$ ist.

Γ	Zone	m	$\log \delta$	red.	$\log A$
6	V	14.66	3.527	$+0.054$	7.436
7	IV u. VI	14.84	3.031	0	7.160
4	III u. VII	14.59	2.522	$+0.075$	6.637
2	II u. VIII	14.28	2.279	$+0.168$	6.302
3	IX	14.29	2.281	$+0.165$	5.842
Summe 22		für $m = 14.84$,	$\log A = 7.688$		

Die Reduktion wurde mit $\log \alpha = 0.30$ ausgeführt. Dieser Wert ist nicht sehr sicher, was aber gegenüber den anderen Unsicherheiten nicht in Frage kommt.

Der zuletzt abgeleitete Wert beruht in der Hauptsache auf photographischen Aufnahmen, die Herr J. A. Parkhurst von der Umgebung veränderlicher Sterne angestellt hat, während er Sterne und darunter die allerschwächsten am 40 Zöller des Yerkes-Observatory photometrisch festlegte. Benutzt wurde dabei ein Keil, der das Licht des künstlichen Vergleichsterns meßbar abschwächte. Es lassen sich Annahmen machen, welche dafür sprechen, daß der so gewonnene Wert von $\log A$ eher zu groß als zu klein sein wird. Sicher aber dürften ähnliche Aufnahmen in größerer Zahl geeignet sein, die Kenntnis über die scheinbare Verteilung sehr schwacher Sterne zu fördern.

Schließlich ist noch zu bemerken, daß nach meinen Untersuchungen (I. S. 592) für die Herschelschen Sterne $\log A = 7.433$ anzunehmen ist und die zugehörige Größe m darf nach Herrn Kapteyn in recht sicherer Bestimmung zu 13.90 angesetzt werden.

V.

Wenn nunmehr die im letzten Abschnitt erhaltenen Werte von $\log A_m$ zusammengestellt werden, erhält man folgende Tabelle:

m	$\log A_m$	R	$B-R$
1.5	1.312	1.310	+ 2
2.5	1.827	1.824	+ 3
3.75	2.450	2.466	— 16
4.75	2.957	2.980	— 23
5.75	3.504	3.494	+ 10
6.75	4.008	4.008	0
7.50	4.394	4.394	0
9.20	5.268	5.265	+ 3
11.16	6.222	6.272	— 50
13.90	7.433	7.448	— 15
14.84	7.688	7.681	+ 7

Die Wertreihe für $\log A_m$ läßt sich, wie auf den ersten Blick ersichtlich ist, bis zu $m = 11.16$ als lineare Funktion von m darstellen. In der Tat gibt die Formel:

$$\log A_m = 4.394 + 0.514\,(m - 7.5),$$

die in der Tabelle unter R stehenden Werte und die mit $B - R$ bezeichneten Abweichungen. Diese Differenzen sind genügend klein, insbesondere zeigen sie keinen ausgesprochenen Gang. Die etwas größere Abweichung bei 11.16, die einer Veränderung in m im Betrage von noch nicht 0.1 Größenklasse entspricht, dürfte in Anbetracht der Ungenauigkeit des betreffenden Wertes von $\log A_m$ keine Bedenken erregen und es wird also als gute Näherung die Formel angesehen werden können:

$$\left.\begin{aligned} A_m &= c h_m^{\frac{\lambda-3}{2}}, \\ \text{wo:}\quad \frac{3-\lambda}{5} &= 0.514; \quad \lambda = 0.430 \end{aligned}\right\}. \tag{1}$$

Damit ergeben aber die in Art. 1 ausgeführten Betrachtungen:

$$\Delta(\varrho) = \gamma \cdot \varrho^{-0.43} \tag{2}$$

und der weitere Verlauf der Werte A_m läßt sich mit der Annahme eines endlich begrenzten Sternsystems vereinigen, in welchem die eingeführte Stern-

größe n, die bei gewissen Annahmen die Größe der hellsten Sterne an der Grenze des Sternsystems angibt, die Ungleichheit erfüllt:

$$11.16 < n < 13.90.$$

Zur weiteren Verfolgung ist die Kenntnis der Häufigkeitsfunktion φ nötig, während sie bei der Feststellung der Gleichungen (1) und (2) nicht erforderlich war. Nach den Auseinandersetzungen in Art. III wird man es aber als gerechtfertigt ansehen, wenn man, wenigstens zunächst, die Funktion

$$\varphi(i) = \frac{H}{i} \log \frac{H}{i} \tag{3}$$

zur Anwendung bringt. Eine solche Form kann, da φ (0) unendlich wird, nur innerhalb eines bestimmten endlichen Intervalls gültig sein und in der Tat wurde sie nur für Werte von i, die den Sterngrößen — 3.6 bis etwa 6 entsprechen, als zulässig erkannt. Es muß deshalb, wie schon in Art. III erwähnt wurde, $\varphi(i)$ bis auf einen konstanten Faktor unbestimmt bleiben und man kann deshalb nach Belieben den natürlichen oder Briggschen Logarithmus nehmen. Es soll, wenn nicht das Gegenteil besonders erwähnt wird, der natürliche Logarithmus gemeint sein. Nach den Betrachtungen des Art. III war es wahrscheinlich, daß außerhalb des Gültigkeitsbereiches die Formel (3) zu große Werte für φ angibt, für genügend kleine i ist das selbstverständlich der Fall. Trifft dieser Sachverhalt zu, dann werden die berechneten A_m für $m > n$ zu groß ausfallen, wenn die untere Grenze für ϱ im ersten Integral der 2. Formel (III) in Art. I gleich Null angenommen wird und sie werden zu klein ausfallen, wenn man die erstere Grenze so wählt, daß nur größere i, als der Größe 6 entsprechen, vorkommen. Dadurch kann man die Maximalfehler abschätzen, die durch die Begrenztheit des Gültigkeitsintervalls für die durch (3) definierte Funktion entstehen, was ein sehr wichtiger Umstand ist, denn sonst wäre die Anwendbarkeit von (3) ganz problematisch. Dieser prozentuale Fehler wird also wesentlich kleiner als X sein, wenn

$$\frac{A_m}{A_m^0} = 1 - X$$

gesetzt wird. Dabei ist

$$A_m = \Gamma_1 \int_{\sqrt{\frac{H}{h_0}}}^{\sqrt{\frac{H}{h_n}}} r^{2-\lambda}\, dr \int_{h_m r^2}^{H} \frac{H}{i} \log \frac{H}{i}\, di$$

und A_m^0 der Werth von A_m, wenn die untere Grenze des äußeren Integrals Null wird. h_0 muß so bestimmt werden, daß i in Größenklassen ausgedrückt kleiner als 6.0 bleibt. Zunächst wird, wenn noch $\Gamma = \frac{H}{2} \cdot \Gamma_1$ gesetzt wird:

$$A_m = \Gamma \int\limits_{\sqrt{\frac{H}{h_0}}}^{\sqrt{\frac{H}{h_n}}} r^{2-\lambda}\, d\, r \left(\log \frac{H}{h_m r^2}\right)^2$$

und wenn man die Formeln verwendet:

$$\int r^n \log r\, d\, r = \frac{r^{n+1}}{n+1} \log r - \frac{r^{n+1}}{(n+1)^2}$$

$$\int r^n (\log r)^2\, d\, r = \frac{r^{n+1}}{n+1} (\log r)^2 - \frac{2}{(n+1)^2}\, r^{n+1} \log r + \frac{2\, r^{n+1}}{(n+1)^3},$$

ergibt sich:

$$\left.\begin{aligned} A_m^0 &= \frac{\Gamma}{3-\lambda} \cdot \left(\frac{H}{h_n}\right)^{\frac{3-\lambda}{2}} \left\{\left(\log \frac{h_n}{h_m} + \frac{2}{3-\lambda}\right)^2 + \frac{4}{(3-\lambda)^2}\right\} \\ X &= \left(\frac{h_n}{h_0}\right)^{\frac{3-\lambda}{2}} \cdot \frac{\left(\log \frac{h_0}{h_m} + \frac{2}{3-\lambda}\right)^2 + \frac{4}{(3-\lambda)^2}}{\left(\log \frac{h_n}{h_m} + \frac{2}{3-\lambda}\right)^2 + \frac{4}{(3-\lambda)^2}} \end{aligned}\right\}. \qquad (4)$$

Die hier vorkommenden Logarithmen sind natürliche. Nennt man allgemein m_0 die Sterngröße, welche die Gültigkeit der Formel (3) nach oben begrenzt, ν die der Maximalhelligkeit H entsprechende Größe, so muß für die untere Grenze r_0 im Integrale von r

$$h_m r_0^2 = h_{m_0}$$

angenommen werden und da $r_0^2 = \frac{H}{h_0}$, so wird:

$$\frac{h_0}{h_m} = \frac{H}{h_{m_0}}.$$

Ist $\varepsilon = 0.43429$, so bestehen demnach die Formeln:

$$\log \frac{h_0}{h_m} = \frac{0.4}{\varepsilon} \cdot (m_0 - \nu)$$

$$\log \frac{h_n}{h_m} = \frac{0.4}{\varepsilon} \cdot (m - n).$$

Im speziellen ist dem früheren zufolge anzunehmen $m_0 = 6$, $\nu = -3.62$; $\lambda = 0.43$. Damit ergibt sich folgendes:

$m-n$	X	brigg log $(1+X)$
0	0.001	0.000
1	1	0
2	2	1
3	3	1
4	6	3
5	13	6
6	32	14
7	80	33
8	0.205	0.081

Aus diesen Zahlen geht hervor, daß man bis zu $m = 18$ etwa die Anzahlen A_m so berechnen kann, als ob die angenommene Form für $\varphi(i)$ eine unbegrenzte Gültigkeit hätte, ohne einen bemerkbaren Fehler zu begehen, da n ungefähr $= 12$ ist. Zur Ableitung des Wertes von n sei folgendes bemerkt: nennt man m und m' zwei Größen, die den Bedingungen $m' < n$ und $m > n$ genügen, so ist nach den obigen Formeln

$$A_{m'} = c \cdot h_{m'}^{\frac{\lambda - 3}{2}}$$

und:

$$\log \frac{A_n}{A_{m'}} = (n - m') \frac{(3-\lambda)}{5} = \beta$$

$$\frac{A_m}{A_n} = Y = \frac{1}{2} + \left[\frac{3-\lambda}{2\sqrt{2}} \cdot \frac{0.4}{\varepsilon} (m - n) + \frac{1}{\sqrt{2}}\right]^2$$

$$\log \frac{A_m}{A_{m'}} = \beta + \log Y.$$

Da eine genauere Ausgleichung nach diesen Formeln ziemlich unnötig wäre, habe ich durch einfache Versuche eine genügende Darstellung der zu Grunde gelegten Werte A_m zu erhalten gesucht. Es ergab sich so $n = 11.91$. Die Anzahl $A_{9.2}$ ist sehr sicher bestimmt, ich bin deshalb von $m' = 9.2$ ausgegangen. Das Resultat der Rechnung ist in der obigen Tabelle unter R angegeben. Die übrigbleibenden Abweichungen $B - R$ lassen eine, so kann man in Anbetracht der Unsicherheit der empirischen Daten sagen, vollständige Übereinstimmung erkennen. Es seien nun noch die Anzahlen A_m für $m > n$ angeführt in dem Umfange, als sie sich der obigen Betrachtung gemäß bis auf einige Einheiten der letzten Stelle verbürgen lassen.

m	$\log A_m^0$	Δ
11.91	6.661	
12.91	7.120	459
13.91	7.452	332
14.91	7.697	245
15.91	7.890	193
16.91	8.049	159
17.91	8.185	136

Die Anzahlen A_m wachsen zuletzt nur langsam, aber schließlich wird A_m^0 für $m = \infty$ doch unendlich, was eine Folge davon ist, daß $\varphi(i)$ für $i = 0$ unendlich wird. Da aber die berechneten Zahlen A_m^0 für $m > 18$ zuerst unzuverlässig, später ganz illusorisch werden, kann über den Grenzwert A_∞^0, also über die Zahl aller sichtbaren Sterne, nichts ausgesagt werden, solange nicht die Funktion φ in ihrem Verlaufe für kleine i bekannt ist. Die Gesamthelligkeit aller dieser unendlich vielen Sterne aber ist endlich und zwar sehr klein. Dabei macht das Gesamtlicht der schwächsten Sterne, etwa von $m = 18$ ab, nur wenig aus und man überzeugt sich leicht, daß unter den gleichen Voraussetzungen, wie früher, die Gesamthelligkeit H höchstens um wenige Prozente unrichtig, und zwar wahrscheinlich zu groß, gefunden wird, wenn man die Funktion φ als in ihrem Gesamtverlauf durch (3) definiert ansieht.

Das von den Sternen $m > n$ gelieferte Gesamtlicht ist nun:

$$H_2 = -\int_0^{h_n} \frac{d A_m}{d h_m} \cdot h_m \, d h_m = A_n h_n \cdot \frac{(3-\lambda)(5-\lambda)}{4}.$$

Dazu kommt das Gesamtlicht der Sterne $m < n$, das sehr nahe sein wird:

$$H_1 = \frac{3-\lambda}{2} \cdot A_n h_n^{\frac{1}{2}(3-\lambda)} \cdot \int_{h_n}^{\infty} h^{\frac{1}{2}(\lambda-3)} \cdot dh = \frac{3-\lambda}{1-\lambda} A_n h_n.$$

Daraus folgt für das Gesamtlicht:

$$H = H_1 + H_2 = \frac{(3-\lambda)^3}{4(1-\lambda)} \cdot A_n h_n. \tag{5}$$

Nebenbei bemerkt ist also $\frac{H_2}{H_1} = 0.65$. Um so schwache Flächenhelligkeiten, wie die des Himmelsgrundes, in übersichtlicher Weise anzugeben, habe ich bei einer früheren Gelegenheit[1]) die Angabe der Zahl A vorgeschlagen,

[1]) Über kosmische Staubwolken und das Zodiakallicht. Münchener Sitzungsberichte 1901, S. 277.

welche anzeigt, wievielmal größer die Flächenhelligkeit der mittleren Vollmondscheibe ist als die des betreffenden Objekts. Dem oben gefundenen Wert von H entspricht nun für die mittlere Erhellung des Himmelsgrundes:

$$A = 1.7 \times 10^7.$$

Newcomb[1]) hat die mittlere Flächenhelligkeit des Nachthimmels aus Beobachtungen zu bestimmen gesucht und gefunden, daß die nicht in der Milchstraße gelegenen Himmelsteile vom Flächeninhalt $\frac{3.1416}{4} = 0.785$ Quadratgrad so viel Licht aussenden wie 0.9 Sterne von der 5. Größe, während die Flächenhelligkeit in der Milchstraße etwa doppelt so groß ist. Der mittlere Vollmond hat so viel Licht wie ein Stern von der Größe — 11.8; ein Quadratgrad am Himmel hat die Fläche von a Vollmondflächen, wo $\log a = 0.676$. Danach ergibt die Beobachtung Newcombs:

$$A = 1.0 \times 10^7 \text{ in der Milchstraße}$$
$$A = 2\cdot 1 \times 10^7 \text{ außerhalb der Milchstraße.}$$

Das ist eine so gute Übereinstimmung mit dem oben gefundenen Werte, wie bei der Unsicherheit solcher Beobachtungen kaum erwartet werden konnte. Herr Townley[2]) hat ähnliche Beobachtungen wie Newcomb, aber auf photographischem Wege. angestellt. Nach seinen Angaben wären die 0.9 Newcombschen Sterne 5. Größe durch 1 Stern 4. bis 5. Größe zu ersetzen und die Milchstraßengegenden sind 1.9 mal so hell wie die außerhalb gelegenen Himmelsteile. Ich habe in meiner zuletzt zitierten Arbeit vom Jahre 1901 unter der Voraussetzung $\varphi =$ const. für die Milchstraße $A = 0.75 \times 10^7$ gefunden. Da diese Zahl ebenfalls nicht wesentlich von der Newcombschen abweicht, wird man daraus schließen, daß die Berechnung der Flächenhelligkeit des Himmelsgrundes keine Kontrolle für die Richtigkeit der Grundlagen der Rechnung abgibt, der man große Bedeutung zuerkennen kann. Stark abweichende Resultate werden nur durch ganz enorm abweichende Annahmen hervorgerufen werden können, aus denen ganz andere A_m für $m > n$ folgen würden. Auf die vorhandenen Nebelgebilde ist bei allen diesen Betrachtungen und Beobachtungen keine Rücksicht genommen worden, was indessen kaum viel ausmachen kann.

Es sei noch bemerkt, daß die Formel (5) direkt aus der Formel (V) Art. I folgt, wenn $\Delta(\varrho) = \gamma \cdot \varrho^{-\lambda}$, $F = 1$, $\Phi = \varphi$ gesetzt wird. Denn dann ist:

---

[1]) Astrophysical Journal 14, 297, 1901.

[2]) Publications of the Pacific Society XV, 1903.

$$H = \gamma \int_0^{\sqrt{\frac{H}{h_n}}} \varrho^{-\lambda}\, d\varrho \int_0^H H \log \frac{H}{i}\, di = \gamma\, \frac{H^2}{1-\lambda} \left(\frac{H}{h_n}\right)^{\frac{1-\lambda}{2}},$$

während sich aus (4) ergibt:

$$A_n^0 = \gamma \cdot \frac{H}{2} \cdot \frac{8}{(3-\lambda)^3} \left(\frac{H}{h_n}\right)^{\frac{3-\lambda}{2}} = 4\gamma \cdot \frac{H}{(3-\lambda)^3} \left(\frac{H}{h_n}\right)^{\frac{3-\lambda}{2}}.$$

Die Verbindung beider Formeln gibt das Resultat (5). Nebenbei sei noch folgender Satz angemerkt. Wäre das Sternsystem unendlich ausgedehnt und überall die Sterndichtigkeit endlich, so wäre nach (V) Art. I die Helligkeit des Himmelsgrundes:

$$H = \gamma \cdot \int_0^\infty D \cdot \psi(r)\, dr \int_0^H \varphi(x)\, x\, dx.$$

In dem speziellen Falle, daß allein die vorgelagerten hellen Massen eine Absorption verursachen oder daß die Dichtigkeit in der Verteilung der dunklen Massen proportional mit der Dichtigkeit D verläuft, würde man ansetzen dürfen

$$\psi(r) = e^{-\chi(r)}, \quad \text{wo } \chi(r) = \nu \int_0^r D\, dr.$$

Aus der letzten Gleichung folgt:

$$\frac{d\chi(r)}{dr} = \nu D,$$

und da $\int_0^H \varphi(x)\, x\, dx = B$ eine Konstante ist:

$$H = \frac{B\gamma}{\nu} \cdot \int_0^\infty e^{-\chi(r)} \cdot \frac{d\chi(r)}{dr}\, dr = \frac{B\gamma}{\nu} \cdot \left(1 - e^{-\nu \int_0^\infty D\, dr}\right).$$

Der Voraussetzung gemäß ist aber $\int_0^\infty D\, dr$ unendlich groß. Es ergibt sich also:

$$H = \frac{B\gamma}{\nu},$$

d. h. der Himmelsgrund ist überall gleich hell und ganz unabhängig von der Dichtigkeitsverteilung.

VI.

Nach den erhaltenen Resultaten sind die empirischen Abzählungsresultate vollständig darstellbar durch die Formeln (2) und (3) des vorigen Artikels. Die Dichtigkeit der räumlichen Sternverteilung $D(r)$ ist dadurch noch nicht gegeben, vielmehr besteht nur die Relation (4), Art. I. Man muß also die Absorption kennen, um zur Kenntnis von D zu gelangen. Dagegen ermöglicht, wie öfters erwähnt worden ist, die Hinzuziehung der mittleren Parallaxenwerte π_m die Bestimmung der Absorption und somit auch von $D(r)$.

Die Formel (IV) Art. I kann man, da $\Delta(\varrho) = \varrho^{-\lambda}$ ist, auch schreiben:

$$\frac{\pi_{m\,m'}}{0.2} = \frac{I_m - I_{m'}}{K_m - K_{m'}},$$

wobei zur Abkürzung

$$I_m = \frac{1}{2}\int\limits_0^{\sqrt{\frac{H}{h_m}}} \frac{\varrho^{2-\lambda}}{r}\cdot d\varrho \int\limits_{h_m\varrho^2}^{H} \varphi(x)\,dx$$

gesetzt wird. K_m geht aus I_m hervor, wenn $r = 1$ angenommen wird. Mit Benutzung der Häufigkeitsfunktion (3) des vorigen Art. wird:

$$I_m = \frac{H}{4}\int\limits_0^{\sqrt{\frac{H}{h_m}}} \frac{\varrho^{2-\lambda}}{r}\cdot\left(\log\frac{H}{h_m\varrho^2}\right)^2 d\varrho. \tag{1}$$

Eine weitere Behandlung ist nur möglich, wenn man $r = f(\varrho)$ angeben kann, d. h. wenn das Gesetz der Absorptionswirkung bekannt ist. Geänderte Annahmen scheinen nun die Schwierigkeiten, die hier auftreten und im folgenden erwähnt werden sollen, nicht zu beheben. Ich begnüge mich deshalb, die Folgerungen aus der Annahme einer allgemeinen Absorption zu ziehen, die dadurch charakterisiert ist, daß

$$\psi(r) = e^{-\nu r}; \qquad \varrho = r\,e^{\frac{1}{2}\nu r} \tag{2}$$

gesetzt wird. e ist die Basis des natürlichen Logarithmensystems. Das Integral I_m ist nicht in geschlossener Form ausführbar. Andrerseits genügt offenbar folgende Berechnung, die bis auf einen mäßigen Bruchteil von einem Prozent. oder doch bis auf wenige Prozente, genau ist. Innerhalb der Grenzen der Integration und für nicht zu große ν lassen sich nämlich, wie der nume-

rische Verlauf der betreffenden Größen zeigt, konstante Größen α und β so bestimmen, daß die Fehler meistens sehr viel weniger als 1% betragen, wenn man setzt:

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{\varrho} + \alpha - \beta \log \varrho. \tag{3}$$

Dann ergibt sich aber sofort:

$$\frac{I_m}{H} = \left(\frac{H}{h_m}\right)^{\frac{2-\lambda}{2}} \cdot \frac{2}{(2-\lambda)^3} + \left(\alpha - \beta \log \sqrt{\frac{H}{h_m}}\right) \left(\frac{H}{h_m}\right)^{\frac{3-\lambda}{2}} \cdot \frac{2}{(3-\lambda)^3} + \beta \left(\frac{H}{h_m}\right)^{\frac{3-\lambda}{2}} \cdot \frac{6}{(3-\lambda)^4}.$$

K_m erhält man dann hieraus, wenn man $\beta = 0$, $\alpha = 1$ setzt und das erste von α und β freie Glied fortläßt:

$$K_m = H \left(\frac{H}{h_m}\right)^{\frac{3-\lambda}{2}} \cdot \frac{2}{(3-\lambda)^3}.$$

Bezeichnet man zur Abkürzung:

$$A = \left(\frac{3-\lambda}{2-\lambda}\right)^3 \frac{1 - \left(\frac{h_m}{h_{m'}}\right)^{\frac{2-\lambda}{2}}}{1 - \left(\frac{h_m}{h_{m'}}\right)^{\frac{3-\lambda}{2}}};$$

$$B = \frac{\log \frac{H}{h_m} - \left(\frac{h_m}{h_{m'}}\right)^{\frac{3-\lambda}{2}} \log \frac{H}{h_{m'}}}{2\left[1 - \left(\frac{h_m}{h_{m'}}\right)^{\frac{3-\lambda}{2}}\right]},$$

so erhält man schließlich:

$$\frac{\pi_{m\,m'}}{0.2} = A \left(\frac{h_m}{H}\right)^{\frac{1}{2}} - \beta B + \alpha + \frac{3\beta}{3-\lambda}. \tag{4}$$

Dabei sind alle Logarithmen natürliche. Auch in Bezug auf die Formel (4) gilt der wichtige Satz, daß die Beschränkung des Gültigkeitsbereichs der Häufigkeitsfunktion φ in der obigen Weise nur außerhalb gewisser Grenzen für m und m' merkbare Fehler erzeugt. Zur ungefähren Feststellung dieser Grenzen genügt es selbstverständlich vollkommen, statt der Gleichung (IV) die etwas einfachere (IVa) zu untersuchen. Man hat also zuzusehen, ob und innerhalb welchen Spielraums für die m die Gleichung:

$$\frac{\pi}{0\rlap{.}''2} = \frac{I}{K} = \frac{\int\limits_{\sigma_0}^{\sigma_1} \frac{\varrho^{4-\lambda}}{r} \cdot \varphi(h_m \varrho^2)\, d\varrho}{\int\limits_{\sigma_0}^{\sigma_1} \varrho^{4-\lambda}\, \varphi(h_m \varrho^2)\, d\varrho},$$

wo $\sigma_1 = \sqrt{\frac{H}{h_n}}$, $\sigma_0 = \sqrt{\frac{H}{h_0}} = \sqrt{\frac{h_{m_0}}{h_m}}$ bis auf kleine Abweichungen dasselbe π gibt, wie in dem Falle, in dem $\sigma_0 = 0$ angenommen wird. Zunächst gilt diese Untersuchung für $m > n$, und dieser Fall ist hier als der allgemeinere aufzufassen. Für $m < n$ hat man in den Endformeln einfach $n = m$ zu setzen; n selbst kommt dann gar nicht mehr vor. Zur Vereinfachung der Darstellung werde gesetzt:

$$a = \int\limits_{\sigma_0}^{\sigma_1} \varrho^{1-\lambda} \log\left(\frac{H}{h_m \varrho^2}\right) d\varrho; \qquad b = \int\limits_{\sigma_0}^{\sigma_1} \varrho^{2-\lambda} \log \varrho \log\left(\frac{H}{h_m \varrho^2}\right) d\varrho;$$

$$c = \int\limits_{\sigma_0}^{\sigma_1} \varrho^{2-\lambda} \log\left(\frac{H}{h_m \varrho^2}\right) d\varrho.$$

Dann wird:

$$\frac{\pi}{0\rlap{.}''2} = \frac{a}{c} + \alpha - \beta\, \frac{b}{c}. \tag{5a}$$

Die Durchführung der Rechnung gibt folgendes:

$$\left.\begin{aligned}
a &= \frac{2}{(2-\lambda)^2}\left(\frac{H}{h_n}\right)^{\frac{2-\lambda}{2}}\left(1+\frac{2-\lambda}{5\varepsilon}(m-n)\right)\left\{1-\left(\frac{h_{m_0}h_n}{Hh_m}\right)^{\frac{2-\lambda}{2}}\frac{1+\frac{2-\lambda}{5\varepsilon}(m_0-\nu)}{1+\frac{2-\lambda}{5\varepsilon}(m-n)}\right\}\\
b &= -\frac{4}{(3-\lambda)^3}\left(\frac{H}{h_n}\right)^{\frac{3-\lambda}{2}}\left[1+\frac{3-\lambda}{10\varepsilon}(m+\nu-2n)+\frac{(3-\lambda)^2}{50\varepsilon^2}(n-\nu)(n-m)\right]\\
&\quad\times\left[1-\left(\frac{h_{m_0}h_n}{Hh_m}\right)^{\frac{3-\lambda}{2}}\frac{1-\frac{3-\lambda}{10\varepsilon}(m+\nu-2m_0)-\frac{(3-\lambda)^2}{50\varepsilon^2}(m-m_0)(m_0-\nu)}{1+\frac{3-\lambda}{10\varepsilon}(m+\nu-2n)+\frac{(3-\lambda)^2}{50\varepsilon^2}(n-\nu)(n-m)}\right]\\
c &= \frac{2}{(3-\lambda)^2}\left(\frac{H}{h_n}\right)^{\frac{3-\lambda}{2}}\left(1+\frac{3-\lambda}{5\varepsilon}(m-n)\right)\left\{1-\left(\frac{h_{m_0}h_n}{Hh_m}\right)^{\frac{3-\lambda}{2}}\frac{1+\frac{3-\lambda}{5\varepsilon}(m_0-\nu)}{1+\frac{3-\lambda}{5\varepsilon}(m-n)}\right\}
\end{aligned}\right\} \tag{5}$$

Die Formeln wurden gleich so geschrieben, daß die in geschweifte Klammern gesetzten Glieder die Form $1 - X$ haben. X ist also der Fehler, der entsteht, wenn man die untere Grenze der Integrale $= 0$ setzt. Zuerst interessiert der Fall $m < n$. Dann ist den obigen Bemerkungen zufolge $n = m$ zu setzen, und es wird also:

$$a = \frac{2}{(2-\lambda)^2}\left(\frac{H}{h_m}\right)^{\frac{2-\lambda}{2}}(1 - X_a); \qquad b = -\frac{4}{(3-\lambda)^3}\left(\frac{H}{h_m}\right)^{\frac{3-\lambda}{2}}\left(1 + \frac{3-\lambda}{10\varepsilon}(\nu - m)\right)(1 - X_b);$$

$$c = \frac{2}{(3-\lambda)^2}\left(\frac{H}{h_m}\right)^{\frac{3-\lambda}{2}}(1 - X_c)$$

$$X_a = \left(\frac{h_{m_0}}{H}\right)^{\frac{2-\lambda}{2}}\left[1 + \frac{2-\lambda}{5\varepsilon}(m_0 - \nu)\right]$$

$$X_b = \left(\frac{h_{m_0}}{H}\right)^{\frac{3-\lambda}{2}} \frac{1 - \frac{3-\lambda}{10\varepsilon}(m + \nu - 2m_0) - \frac{(3-\lambda)^2}{50\varepsilon^2}(m - m_0)(m_0 - \nu)}{1 - \frac{3-\lambda}{10\varepsilon}(m - \nu)}$$

$$X_c = \left(\frac{h_{m_0}}{H}\right)^{\frac{3-\lambda}{2}}\left[1 + \frac{3-\lambda}{5\varepsilon}(m_0 - \nu)\right].$$

Für $m_0 = 6$, $\nu = -3.62$, $\lambda = 0.43$ findet man den Fehler $X_a < 0.8\%$, während X_b und X_c völlig ($< 0.1\%$) belanglos bleiben, solange m eine positive Größe ist.

Für $m > n$ findet man nach den Formeln (5) überschlagsweise:

m	X_a	X_b	X_c
11.91	0.008	0.000	0.000
12.01	9	0	0
13.91	13	0	0
14.91	21	1	1
15.91	35	3	2
16.91	0.061	0.007	0.006

Man darf danach die Formel (4) für die mittleren Parallaxen benutzen, solange m positiv und < 17 bleibt, ohne einen irgendwie ins Gewicht fallenden Fehler zu befürchten.

Bekanntlich hat Herr Kapteyn[1]) aus und in Verbindung mit Apexbestim-

[1]) Ich nehme die Zahlen aus den Angaben des Autors in Astron. Journ., Nr. 566.

mungen mittlere Parallaxen $\pi_{mm'}$ bis zu Sternen von der 8. und 9. Größe abgeleitet und Herr Comstock[1]) hat aus einer Apexbestimmung aus 68 schwachen, zuerst von O. Struve in Pulkowa beobachteten Sternen mittlere Parallaxen für diese Sterne erhalten. Die zugehörigen Grenzwerte m und m' habe ich dabei ohne nähere Untersuchung der folgenden Tabelle gemäß angenommen. Kleinere Ungenauigkeiten in dieser Beziehung sind ziemlich belanglos.

Nr.	m'	m	Mittel	$\pi(K)$	$\pi(N)$	(π)
1	0.0	3.5	2.7	0.″0383	0.″0310	0.″0404
2	3.5	4.5	4.0	205	155	222
3	4.5	5.5	5.0	147	98	155
4	5.5	6.5	6.0	129	62	113
5	6.5	7.5	7.0	89	39	86
6	8.0	9.0	8.5	63	19	63
7	10.0	11.0	10.5	0.0045	0.0008	0.0049

Neben den ungefähren Mittelwerten der Größen sind unter $\pi(K)$ die von Herrn Kapteyn und Comstock gefundenen Parallaxen angeführt. Ferner sind $\pi(N)$ die oben als „normale“ bezeichneten Parallaxen. Nebenbei bemerkt, erhält man eine gute Darstellung der empirischen Werte durch die Formel:

$$(\pi) = \pi(N) \times 1.178 + 0.''0040,$$

wie die Gegenüberstellung von (π) und $\pi(K)$ in der obigen Tabelle zeigt.

Es ist schon oft bemerkt worden, daß die $\pi(K)$ und die normalen Werte $\pi(N)$ ganz unvereinbar miteinander sind. Will man die Werte $\pi(K)$ als richtig anerkennen, so bleibt wohl kaum etwas anderes übrig, als eine starke Absorption anzunehmen. Versuche, ohne eine solche Absorption die Abzählungsergebnisse A_m mit den $\pi(K)$ in Einklang zu bringen, können nur dann erfolgreich sein, wenn die oben benutzten A_m abgeändert werden und man außerdem die Funktion $\varphi(i)$ ganz anders verlaufen läßt, als die bisherigen direkten Bestimmungen von Parallaxen zeigen, und zwar in dem Sinne, daß kleine i sehr viel häufiger vorkommen müßten. Solche Rechnungen lassen sich ohne sonderliche Mühe ausführen. Die Annahme, daß die weiteren Sterne eine andere Häufigkeitsfunktion φ zeigen als die uns nächsten, ist natürlich nicht ohne weiteres zurückzuweisen, dürfte aber wohl nur im Notfalle zuzulassen sein. Sobald aber die hier benutzten A_m bis etwa zur 12. Größe ganz nahe richtig sind, sind die normalen Parallaxenwerte als mathematische Folge zu bezeichnen und dann bleibt nichts übrig als entweder die mittleren Parallaxen $\pi(K)$ als nicht zutreffend anzusehen oder eine starke

[1]) Provisional results etc. Astron. Journ., Nr. 558.

Absorption anzunehmen. Gegen die erste Maßnahme werden sich gegenwärtig keine ernsten Einwände machen lassen, da die Ableitung der $\pi(K)$ auf der Annahme einer vollständigen Kompensation aller systematischen Eigenbewegungen beruht, die sicher nicht stattgefunden hat. In welchem Betrag sich die mittleren Parallaxen durch andere Annahmen oder andere Rechnungsmethoden verändern können, ist sehr schwierig anzugeben, da über die systematischen Eigenbewegungen der Sterne und namentlich der schwächeren noch viel zu wenig bekannt ist.

Was die zweite Maßnahme betrifft, nämlich die Einführung einer bedeutenden Absorption, so ist sie in Bezug auf die räumliche Dichtigkeit $D(r)$ mit kaum zulässigen Folgerungen verbunden. Das Vorhandensein bedeutender Absorptionen an einzelnen Stellen, besonders in der Milchstraße, ist wiederholt und von verschiedenen Seiten bemerkt worden. Unzweideutige Anzeichen einer allgemein wirkenden Absorption aber, die also einen mit der Entfernung wachsenden Einfluß ausübt, sind bis jetzt noch nicht aufgefunden worden. Gerade in den letzten Monaten wollte man zwar sehr bemerkbare selektive Absorptionswirkungen konstatiert haben. Den Gedankengängen, die dazu geführt haben, kann ich aber, zunächst wenigstens, nicht beistimmen. Zum Teil sind sie als gänzlich verfehlt anzusehen, zum Teil stützen sie sich auf Andeutungen, die allerdings von beobachteten Tatsachen ausgehen und demgemäß nicht ohne weiteres abzuweisen sind. Aber diese Andeutungen müßten noch sehr viel weiter verfolgt werden, ehe sie als Grundlage für irgendwelche Beweise des Vorhandenseins bemerkbarer selektiver Absorptionen benutzt werden können. Mit Hilfe der obigen Formeln oder geringfügiger Umgestaltungen derselben können leicht beliebige Absorptionen in Rechnung gezogen werden. Gegenwärtig fehlt noch die Handhabe zur Verwendung besonderer Ansätze, deshalb soll nur, wie schon oben geschehen ist, die gleichmäßige allgemeine Absorption, die durch die Formel

$$\psi(r) = e^{-\nu r}$$

ausgedrückt ist, weiter verfolgt werden. Auf die Sternzahlen A_m hat die Absorption keinen Einfluß insofern, als aus ihnen nur geschlossen werden kann, daß $\Delta(\varrho) = \gamma \cdot \varrho^{-0.43}$ ist. Aber dann ist die räumliche Dichtigkeit $D(r)$ durch die Formel (14) Art. I bestimmt, und man ersieht daraus ohne weiteres, daß $D(r)$ bei nicht zu kleinen ν gegen die Grenzen des Sternsystems sehr stark anwachsen muß.

Ist keine oder nur eine unmerkliche Absorption vorhanden, dann ist die Dichtigkeit $D(r) = \Delta(\varrho) = \gamma \cdot \varrho^{-\lambda}$. Die Grenze des schematischen Stern-

systems ist dort, wo Sterne von der Größe —3.62 in der Siriusweite als Sterne von der Größe 11.91 erscheinen, was also in 1280 Siriusweiten eintritt. Die Dichtigkeitsverteilung für $r < 1$ kommt nicht in Frage, und das starke Anwachsen von D bei Verringerung von r in diesem Teil des Raumes bleibt am besten unbeachtet, da es nur verwirrend wirken kann. Für Werte $r > 1$ gestaltet sich der Verlauf von $D(r)$ folgendermaßen:

r	D	r	D	r	D
1	1.000	120	0.128	600	0.064
5	0.501	140	0.119	700	0.060
10	0.372	160	0.112	800	0.057
20	0.276	180	0.107	900	0.054
40	0.204	200	0.102	1000	0.051
60	0.172	300	0.086	1100	0.049
80	0.152	400	0.076	1200	0.047
100	0.138	500	0.069		

Will man für die schwächeren Sterne den Parallaxenwerten $\pi(K)$ nahe kommen, so muß man, wie schon erwähnt worden ist, relativ große Absorptionen annehmen. Ich will hier nur folgende Werte anführen:

1. $\nu = 1/20$. Dann ist die Grenze des Sternsystems schon in einer Entfernung von 100 Siriusweiten. Man findet hier die Näherungsformel:

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{\varrho} + 0.0300 - 0.00304 \log \text{nat}\, \varrho.$$

Es ist also $\alpha = +0.0300$ und $\beta = +0.00304$.

Die hierdurch erzielte Annäherung an die Werte $\pi(K)$ ist offenbar lange noch nicht ausreichend.

2. $\nu = 1/15$ und damit:

$$\alpha = +0.0300; \quad \beta = +0.00700.$$

Grenze des Sternsystems 83 Siriusweiten. Aus dem Verlauf der danach gerechneten Zahlen ist zu schließen, daß man ν noch weiter vergrößern müßte, vielleicht bis auf $1/12$. Zum Vergleich wurde noch

3. $\nu = 1/500$ angenommen,

$$\alpha = +0.00154; \quad \beta = +0.000113.$$

Grenze des Sternsystems bei 670 Siriusweiten.

Die mit den angegebenen Werten gerechneten Parallaxen sind in der folgenden Tabelle zugleich mit den Werten $\pi(K)$ zusammengestellt:

m	$\nu = 1/15$	$\nu = 1/20$	$\nu = 1/500$	$\pi\,(K)$
2.7	0ʺ0363	0ʺ0357	0ʺ0313	0ʺ0383
4.0	204	198	158	205
5.0	144	138	101	147
6.0	106	99	65	129
7.0	80	74	42	89
8.5	55	46	23	63
10.5	0.0039	0.0033	0.0017	0.0045

Berechnet man nach (14) Art. I die Dichtigkeiten $D\,(r)$, so ergibt sich für $\nu = 1/15$ und $\nu = 1/500$.

r	$D\,(1/15)$	r	$D\,(1/500)$
1	1	1	1.00
10	1	10	0.39
20	2	30	0.26
30	5	50	0.22
40	13	100	0.20
50	32	200	0 21
60	78	300	0.24
70	190	400	0.30
80	470	500	0.38
Grenze 82.8	604	600	0.47
		Grenze 670	0.57

Bei größeren Absorptionen, und sie allein vermögen unter den gemachten Voraussetzungen die Werte $\pi\,(K)$ darzustellen, findet stets diese enorme Anhäufung der Sterne in den äußersten Regionen des Sternsystems statt, was wohl einige Bedenken hervorrufen dürfte. Aus großer Entfernung betrachtet würden solche Systeme wie Ringnebel aussehen. Für $m > n$ seien schließlich nur folgende mittleren Parallaxen, nach Formel (5 a) berechnet, angeführt.

m	$\nu = 1/15$	$\nu = 1/500$
11.91	0ʺ0030	0ʺ0004
12.91	28	0ʺ0003 (12.91–16.91)
13.91	28	
14.91	27	
15.91	27	
16.91	27	

VII.

An dem Vorhandensein einer Absorption des Sternlichts ist wohl kaum zu zweifeln, insbesondere wenn man dabei an die Wirkung vorgelagerter Massen denkt. Daß z. B. weit ausgebreitete Staubwolken in den verschiedensten Gegenden des Himmels vorkommen, ist zum mindesten eine sehr wahrscheinliche Annahme, vielleicht eine sichergestellte Tatsache. Man hat wohl auch, und namentlich geschah dies in früheren Zeiten, die Ansicht ausgesprochen, die Lichtbewegung durch weite Strecken trage an sich die Zeichen einer Abschwächung. indem sie auch beim Fehlen dessen, was wir Materie nennen, in stärkerem Maße erfolgt, als die quadratische Ausbreitung erfordert. Doch dürfte diese Annahme immerhin nach den neueren physikalischen Ansichten auf Schwierigkeiten stoßen. Da gewöhnliche Absorption und Dispersion zusammenhängen, wenn dies sich auch nicht in begrenzten Teilen des Spektrums nachweisen zu lassen braucht, ferner die Absorption in vielen Fällen sich als selektive zeigen wird, haben sich in neuester Zeit die Bemühungen hauptsächlich auf Konstatierung einer Dispersion und selektiven Absorption des Sternlichts gerichtet. Wenn nun auch die Arbeiten der Herren Nordmann und Tikhoff in Bezug auf die Dispersion des Sternlichts bis jetzt noch nicht zu Ergebnissen geführt haben, die eine unzweifelhafte Interpretation erlauben, so ist doch durch sie sicherlich die Bearbeitung wichtiger Probleme angebahnt worden.

In Bezug auf die selektive Absorption ist in den letzten Monaten die Meinung ausgesprochen worden, daß wirklich der Nachweis einer solchen und zwar in dem Sinne, daß die brechbareren Teile des Spektrums mehr als die weniger brechbaren geschwächt werden, bereits als gelungen angesehen werden könne. Im Zusammenhang mit den hier behandelten Fragen wäre das eine viel zu wichtige Erkenntnis, als daß die näheren Umstände unerwähnt bleiben könnten.

Es traten hierbei insbesondere drei Feststellungen in den Vordergrund:

1. Herr Kapteyn[1]) hat folgende Bemerkung gemacht. Innerhalb einer Klasse von Sternen, deren Spektra dem Sonnenspektrum sehr ähnlich sind, sind einige zu finden, bei denen im violetten Teil eine größere Absorption bemerkbar ist als in anderen Teilen, so daß man den auf der Harvard-Sternwarte eingeführten Spektraltypus XVa in zwei Unterabteilungen teilen kann: in die Gruppen I und II, zu denen α Cassiop. bzw. α bootis gehören. Die

[1]) On the absorption of light in space. Astrophysical Journal XXIX.

Gruppe I zeigt eine mehr oder weniger stark bemerkbare Absorption im violetten Teil des Spektrums. Herr Kapteyn hat weiter bemerkt, daß die 36 bekannten Sterne der Gruppe I, die er übrigens durch neun Sterne vom ähnlichen Typus XIV vermehrte, im Mittel eine säkulare Eigenbewegung von 11.″4 haben, die 25 Sterne der Gruppe II dagegen eine solche von 47.″1. Man wird daraus sicherlich folgern dürfen, daß die letzteren Sterne uns im Mittel viel näher sind und man kann demzufolge annehmen, daß die stärkere selektive Absorption im Violett bei Gruppe I durch die größere Entfernung verursacht sei. Herr Kapteyn selbst hat aber eine Nötigung zu dieser Annahme nicht als vorhanden erklärt, was gegenüber anderen Auffassungen hervorgehoben werden muß. In der Tat hat die Gruppe I im Mittel die Sterngröße 3.3, die Gruppe II 3.5. Die Sterne I haben also eine sehr viel größere Leuchtkraft und befinden sich in anderen physikalischen Zuständen als II. Die kleine Verschiedenheit der Spektra ist demnach auf die plausibelste Weise erklärt, ohne daß man gezwungen wäre, an eine Absorption des Lichts im Weltraum zu denken.

2. Die Bearbeitung der Greenwicher photographischen Sternaufnahmen ergab, daß die Durchmesser d der Sternscheibchen auf jeder Platte, die erfahrungsgemäß außer von Konstanten, die der Platte zugehören, abhängig sind von der Sterngröße m und der Expositionszeit t, diese zwei Größen nicht getrennt, sondern nur in der Verbindung $m - b \cdot \log t$ enthalten, wenigstens daß man mit einer solchen Annahme die Beobachtungen genügend darstellen konnte. Es ist also:

$$d = F(m - b \cdot \log t). \tag{1}$$

Diese Tatsache ist auch anderwärts und zwar sehr früh erkannt worden, so u. a. von Herrn Charlier[1]) 1899, der $b = 1.7$ fand. Nun hat Herr Turner[2]) die Greenwicher Messungen mit dem Werte $b = 2.0$ darstellen können und aus dieser keineswegs überraschenden Tatsache sehr weitgehende Folgerungen in Bezug auf eine interstellare Absorption gezogen. Die Bemerkung, daß der Zahlenwert sehr unsicher bestimmt erscheint und außerdem von der ziemlich willkürlich angenommenen Form der Funktion F, die den ursprünglich in Greenwich ausgeführten Reduktionen zu Grunde gelegt worden ist, abhängig ist, mag hier nicht weiter verfolgt werden, da sie von keiner prinzipiellen Bedeutung für das Folgende ist. Die Argumente, welche Herr Turner zur

[1]) Über Anwendung der Sternphotographie zur Helligkeitsmessung der Sterne. Publikationen der Astron. Gesellschaft. Nr. XIX.

[2]) On the diminution of light etc. Monthly Notices LXIX, S. 61.

Bekräftigung seiner Interpretation anführt, beruhen vielmehr auf folgendem. Nimmt man an, daß die ganze Energie der Lichtstrahlung E zur Vergrößerung der Sternscheibchen verwendet wird und daß d ein Maß für diese aufgewendete Energie ist, dann wird d nur eine Funktion dieser Energie sein.

Wird ein Stern von der photometrisch gemessenen Größe m die Zeit t lang exponiert, dann ist, abgesehen von einem Proportionalitätsfaktor:

$$E = h_m t \tag{2}$$

oder auch:

$$\log E = -0.4 (m - 2.5 \log t).$$

Es würde sich also ergeben:

$$d = F\left(m - \frac{5}{2} \log t\right).$$

Die photographischen Aufnahmen ergeben aber:

$$d = F\left(m - \frac{5}{2} p \log t\right), \tag{3}$$

wo im Falle der Greenwicher Beobachtungen $p = \frac{4}{5}$, also wesentlich kleiner als 1 ist. Diese allgemeine bekannte Tatsache kann man sich bekanntlich dadurch erklären, daß nicht (2), sondern der Ausdruck

$$E = h_m t^p \tag{4}$$

die verwendete Energie ausdrückt. Besonders Herr Schwarzschild[1]) hat die Formel (4) seinen bekannten photographisch-photometrischen Arbeiten zu Grunde gelegt und ausführlich behandelt. Es wurden dabei auch Laboratoriumsversuche herangezogen, so daß (4) mit allgemeinen Eigenschaften des photographischen Prozesses zusammenhängt. Freilich kommt hier noch ein anderer Umstand hinzu, weil die Vergrößerung der Sternscheiben als Maß der Helligkeit dient und in dieser Richtung dürften, wenn ich nicht irre, weitergehende Laboratoriumsversuche wünschenswert sein.

Herr Turner akzeptiert aber eine andere Erklärung. Er meint, daß die Sterne, welche photometrisch im optisch hellsten Teil des Spektrums gemessen die Größe m haben, im photographisch wirksamen Spektralgebiet eine andere Größe m_0 besitzen und daß diese letztere durch eine interstellare Absorption, die besonders die brechbaren Strahlen beeinflußt, vergrößert wird. Die bisher ausgeführten Versuche sprechen von vornherein zwar nicht zu Gunsten dieser

---

[1]) Publikationen der v. Kuffnerschen Sternwarte, Band V.

Annahme, aber es ist vielleicht von Nutzen, die Sache aufzuklären. Die von Herrn Turner gemachte Annahme erfordert, daß

$$h_{m_0}\, t \text{ eine Funktion von } h_m\, t^p,$$

wenn h_{m_0} die Helligkeit eines Sternes ohne und h_m dieselbe mit Rücksichtsnahme auf Absorption ist. Es muß also sein:

$$\log (h_{m_0}\, t) = f(\log h_m + p \log t)$$

$$\log h_{m_0} + \log t = f(-0.4\, m + p \log t);$$

für $m = 0$ wird $h_m = 1$ und man darf als Ausgangswert h_{m_0} ebenfalls 1 annehmen.

Es folgt also:

$$\log h_{m_0} = -\frac{0.4}{p}\, m.$$

Soll dies eine Folge der Absorption sein, so müssen folgende Beziehungen stattfinden. Nennt man r_m die mittlere Entfernung der Sterne von der photometrischen Größe m, die im optischen Spektralgebiet eine Helligkeit $f_1(r_m)$, was eine Funktion von r_m sein muß, hervorruft und im photographischen Gebiete eine solche $f_0(r_m)$, dann müßte sein:

$$\log \left(\frac{f_0(r_m)}{f_1(r_m)}\right) = \log \frac{h_{m_0}}{h_{m_1}} = -0.4\, m\, \frac{1-p}{p}.$$

Der Ausdruck, welcher r mit m verbindet, ist nach den früheren Untersuchungen noch nicht bekannt. Nehmen wir an:

$$\log r_m = \log c + q\, m \tag{5}$$

so kann man sowohl die Kapteynschen als auch die normalen mittleren Parallaxenwerte darstellen. Ist noch r_0 die Entfernung der Sterne von der Größe 0, also:

$$\log \left(\frac{r_m}{r_0}\right) = q\, m,$$

so wird:

$$\frac{f_0(r_m)}{f_1(r_m)} = \left(\frac{r_m}{r_0}\right)^{\frac{2(p-1)}{5pq}}. \tag{6}$$

Die Kapteynschen Parallaxenwerte und die normalen darf man als extreme Werte bezeichnen. Für die ersteren ist $q = -\log 0.75$ zu setzen,[1]) für die

[1]) Publications of the astronomical Laboratory at Gröningen, No. 8, Formel (55).

letzteren $q = \frac{1}{5}$. Ferner soll nach Herrn Turner $p = \frac{4}{5}$ genommen werden. Dann folgt:

$$\frac{f_0(r_m)}{f_1(r_m)} = \left(\frac{r_m}{r_0}\right)^{-0.8} \text{ oder } = \left(\frac{r_m}{r_0}\right)^{-\frac{1}{2}}.$$

Also nur dann, wenn die Schwächung des Lichtes nach diesen Formeln geschieht, kann p eine Konstante sein; sonst ist p mit der Größe p variabel. Um die zu erwartende Veränderlichkeit von p zu übersehen, soll die oben als allgemeine bezeichnete Absorption in Betracht gezogen werden. Es wird dann

$$f_0(r_m) = e^{-\lambda_0(r_m - r_0)} \quad \text{und} \quad f_1(r_m) = e^{-\lambda_1(r_m - r_0)}$$

zu setzen sein. Bezeichnet man zur Abkürzung:

$$\sigma = 0.4\,\frac{1-p}{p},$$

so wird:

$$(\lambda_1 - \lambda_0)(r_m - r_0)\log e = -m\sigma$$

und mit Benutzung von (5):

$$(\lambda_1 - \lambda_0)\, r_0 (10^{qm} - 1) \log e = -m\sigma. \tag{7}$$

Nimmt man beispielsweise an, daß für eine bestimmte Größenklasse m der Wert von σ gleich σ_1 ist, so ergibt sich:

$$(\lambda_1 - \lambda_0)\, r_0 \log e = \frac{-m_1\sigma_1}{10^{qm_1} - 1}$$

und für jedes beliebige m gibt dann (7) das zugehörige σ und daraus den Koeffizienten b in (3):

$$b = \frac{5}{2}\,p = \frac{5}{2 + 5\sigma}.$$

Wählt man $p = \frac{4}{5}$, $m_1 = 7$ und 1.) $q = 0.125$, 2.) $q = \frac{1}{5}$, so wird dann $\sigma_1 = \frac{1}{10}$; $\log[(\lambda_1 - \lambda_0)\; r_0 \log e] = 9.0323_n$ bzw. 8.4617_n,

und man erhält:

m	b (1)	b (2)
3.0	2.23	2.33
7.0	2.0	2.0
11.0	1.61	1.23

Die Werte von b variieren also sehr stark mit m und das ist gerade das charakteristische Anzeichen einer allgemeinen Absorption. Wenn man also die bekannte Tatsache, daß bei Sternphotographien b wesentlich kleiner als 2.5 nicht durch die in gewissem Umfange erprobte Formel (4), sondern durch das Vorhandensein einer selektiven Absorption erklären will, welche die photographisch wirksamen Strahlen wesentlich mehr schwächt als die optischen, wäre es nötig, die Veränderlichkeit des oben mit p bezeichneten Koeffizienten mit der Größe m nachzuweisen. Im übrigen wären trotz der umfangreichen Literatur in diesem Gebiete, ausführlichere Versuche mit künstlichen Sternen, wie schon erwähnt, erwünscht.

3. Durch Anwendung von Farbenfiltern gelangte Herr Tikhoff zu sehr merkwürdigen Resultaten, die allerdings als Nachweis für eine sehr bedeutende Absorption gedeutet werden können, aber keineswegs so gedeutet werden müssen. Auch unterliegt es keinem Zweifel, was Herr Tikhoff wohl selbst erkannt hat, daß noch sehr eingehende Laboratoriumsversuche an künstlichen Sternen vorhergehen müssen, ehe die Verhältnisse, namentlich in Bezug auf die rein photographischen Prozesse, so weit geklärt sein werden, daß man über die Absorption des Sternlichts etwas aussagen kann. Nach Herrn Schwarzschilds [1]) Mitteilungen übrigens sind gerade Beobachtungen an den Plejadensternen, die bei ähnlichen Untersuchungen bevorzugt zu werden pflegen, nur mit Vorsicht zu allgemeinen Schlüssen zu verwenden.

---

[1]) Vierteljahrschrift der Astron. Gesellschaft, Jahrgang 43, S. 287.

Berichtigung: Seite 15 Zeile 12 v. o. statt $\nu = 4 + \lambda$ lies $\nu = 4 - \lambda$.

*



Abhandlungen
der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
XXV. Band, 4. Abhandlung

Über die singulären Lösungen einer Differentialgleichung erster Ordnung mit zwei Variabeln, insbesondere über diejenigen, welche zugleich partikuläre Integrale sind

von

Walther von Dyck

Vorgelegt am 4. Dezember 1909

München 1910
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



Einleitung.

Die folgenden Betrachtungen beschäftigen sich mit dem Verhalten der Integralkurven einer Differentialgleichung erster Ordnung zwischen zwei Variabeln

$$F(x, y, y') = 0$$

in der Umgebung einer singulären Lösung im allgemeinen und dann im besonderen für den Fall, daß die singuläre Lösung zugleich partikuläres Integral der Differentialgleichung ist.

Dabei knüpft die Darlegung einmal an die obige Differentialgleichung als Ausgangspunkt an (§ 1—3), dann an die Gleichung der einfach unendlichen Kurvenschar

$$\Phi(x, y, C) = 0$$

(§ 4, 5) und es handelt sich neben einer genauen analytischen Formulierung, die zur Ergänzung der bisherigen Untersuchungen notwendig ist, vornehmlich um die gestaltliche Diskussion im reellen Gebiet.

Trotz der umfangreichen Literatur, welche über die Frage der singulären Lösungen seit Clairaut und Euler entstanden ist, scheint mir eine ausführliche Darlegung der Geometrie der singulären Lösungen noch immer nicht unangebracht. Es finden sich Unklarheiten und Ungenauigkeiten auch in der allgemeinen Theorie noch in neueren Abhandlungen wie in Lehrbüchern über diesen Gegenstand; besonders aber ist jener Fall der zugleich singulären und partikulären Lösungen seinem eigentlichen geometrischen Charakter nach noch nicht klargelegt worden, obwohl die analytischen Grundlagen der ganzen Frage seit Darbouxs Betrachtungen und besonders seit den Untersuchungen von Fuchs und Hamburger vollständig gegeben sind.

Das Interesse hat sich aber in neuerer Zeit mehr der Theorie der durch eine Differentialgleichung (oder ein System von solchen) definierten analytischen Funktionen und ihrer festen und beweglichen singulären Stellen zu-

gewendet, für welche nach den Cauchyschen Existenzbeweisen der Aufsatz von Briot und Bouquet vom Jahre 1856 „Sur les propriétés des fonctions définies par des équations différentielles“ [1]) und dann der Aufsatz von Fuchs „Über die Differentialgleichungen, deren Integrale feste Verzweigungspunkte besitzen“ [2]) die Grundlage bilden und an welche dann die neueren Arbeiten von Poincaré und Picard, weiterhin von Painlevé, Bendixson, Horn u. a. anschließen [3]). Den hier entstandenen, für die Funktionentheorie prinzipiell wichtigen Arbeiten gegenüber ist die Frage der singulären Lösungen, die wir in den gegenwärtigen Untersuchungen besonders nach der geometrischen Seite weiterführen wollen, zurückgetreten.

Auf Grund der nachfolgenden Betrachtungen lassen sich die Hauptsätze über die singulären Lösungen folgendermaßen aussprechen:

Als singuläre Lösung der Differentialgleichung $F(x, y, y') = 0$ soll jede die Differentialgleichung befriedigende Gleichung in x und y bezeichnet werden, welche ohne Bildung des allgemeinen Integrals derselben als Teilfaktor der Diskriminante D von $F = 0$ und $\frac{\partial F}{\partial y'} = 0$ gewonnen werden kann [4]).

I. Der allgemeine Typus der singulären Lösungen einer Differentialgleichung erster Ordnung, der Fall der gemeinsamen Berührungskurve einer Schar von Zweigen von partikulären Integralkurven, in welchem die eigentlichen Umhüllungskurven (Enveloppen) enthalten sind, sei als Typus I der singulären Lösungen bezeichnet.

[1]) Journal de l'école polyt. cah. 36.

[2]) Sitzungsberichte der Berliner Akademie, Bd. 32, vom Jahre 1884.

[3]) Man vergleiche für eine zusammenhängende Darstellung etwa Picards „Traité d'analyse“, tom. III (Paris 1896), sowie (von weiteren Handbüchern, wie denen von Schlesinger und Forsyth abgesehen) besonders Painlevés „Leçons sur la théorie analytique des équations differentielles“ (professées à Stockholm 1895, Paris 1897), endlich für die weitere Literatur das Referat von Painlevé über „Gewöhnliche Differentialgleichungen“ in der Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften, Bd. II, S. 215 ff. (französische Ausgabe, tome II, vol. 3, fasc. 1).

Es sei gestattet, hier anzufügen, daß ein Teil der Darlegungen, die A. Wahlgren im Anschluß an Bendixson in der Abhandlung „Sur les points singuliers des équations différentielles du premier ordre et du second degré“ in den Abhandlungen der schwedischen Akademie der Wiss. (Bd. 28, 1902) gegeben hat, sich schon in meiner Arbeit „Über die gestaltlichen Verhältnisse der durch eine Differentialgleichung erster Ordnung zwischen zwei Variabeln definierten Kurvensysteme“ (in den Sitzungsberichten der Münchner Akademie der Wissenschaften v. J. 1891 und 1892) findet und dort für eine Charakteristik des Gesamtverlaufes des Systems der Integralkurven im Sinne der Analysis situs verwertet ist.

[4]) Vergleiche hiezu im folgenden die Ausführungen des § 7. Boole spricht in seinem „Treatise on differential equations“ in konsequenter Weise von „Singular solutions“ und von „Particular integrals“, eine richtige Unterscheidung, die später zumeist außer acht gelassen worden ist.

II. Diesen Berührungskurven treten die Grenzkurven an die Seite, welchen sich eine Schar von Zweigen der partikulären Integralkurven von einer oder von zwei Seiten annähert, ohne sie (singuläre Stellen ausgenommen) zu berühren oder zu durchsetzen — Typus II der singulären Lösungen. Es ist dies, wie wir zeigen werden, der allgemeine Fall der zugleich singulären und partikulären Lösungen der Differentialgleichung.

Diese Grenzkurven können einfach oder mehrfach zählend im System der partikulären Integralkurven auftreten.

III. Der in der Literatur in der Regel als Beispiel für die zugleich singulären und partikulären Lösungen einer Differentialgleichung angeführte Fall, in welchem eine partikuläre Integralkurve von einer Gruppe von Zweigen weiterer partikulärer Integralkurven berührt wird, ist ein ganz spezieller Fall solcher Lösungen.

IV. Der Ort singulärer Punkte von partikulären Integralkurven ist im allgemeinen weder partikuläre noch singuläre Lösung, kann aber im besonderen das eine oder andere oder auch beides sein.

Die analytische Unterscheidung der beiden Typen I und II liegt in der bekannten Arbeit von Hamburger „Über die singulären Lösungen der algebraischen Differentialgleichungen erster Ordnung“ [1]) vollständig vor, aber der geometrische Charakter des allgemeinen Falles II als einer singulären Lösung wird nicht erörtert, vielmehr nur seine Eigenschaft als partikuläres Integral hervorgehoben.

Als Typus der zugleich singulären und partikulären Integrale wird dort nur der obige besondere Fall III betrachtet [2]). Für ihn gibt es ein klassisches Beispiel, das auf Cauchy [3]) zurückgeht, die Differentialgleichung

$$y'^3 - 4xy \cdot y' + 8y^2 = 0$$

---

[1]) Journal für die reine und angewandte Mathematik, Bd. 112, 1893.

[2]) Vgl. die Zusammenfassung auf S. 218 der ebengenannten Abhandlung von Hamburger. Ebenso die Darstellung der Hamburgerschen Untersuchungen in Forsyths „Theory of differential equations“, part II (Cambridge 1900), chap. VIII, No. 108 und in Schlesingers „Einführung in die Theorie der Differentialgleichungen“ (Leipzig 1900), Kap. VIII, Nr. 63—66.

[3]) Cauchy, „Leçons sur le calcul différentiel et le calcul intégral“. Herausg. von Moigno, Paris 1844, Bd. 2, S. 377. Für die historische Entwickelung der Theorie der singulären Lösungen wie für die Literatur vergleiche man Painlevés schon genanntes Referat in der Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften, sowie eine von Braunmühl veranlaßte Dissertation von Rothenberg (München 1908), abgedruckt in den Abhandlungen zur Geschichte der math. Wiss., Bd. XX.

mit dem allgemeinen Integral

$$y = C(x - C)^2,$$

welches für $C = 0$ die zugleich singuläre und partikuläre Lösung $y = 0$ ergibt[1]). Dieses Beispiel ist weiter in dem mit einer großen Zahl instruktiver Beispiele ausgestatteten „Treatise on differential equations" von Boole vom Jahre 1859 ausführlich besprochen und findet sich dann mit gleichartigen Beispielen in der größeren Zahl der Lehrbücher über Differentialgleichungen[2]).

Booles Treatise enthält aber auch[3]) eine Differentialgleichung, welche eine zugleich singuläre und partikuläre Lösung von dem obenbezeichneten allgemeinen Typus II der Grenzkurve besitzt, freilich ohne daß sie diesem Charakter nach erkannt wäre. Es ist einfach die Differentialgleichung

$$y' = x^{-n}.$$

Boole hebt hervor, daß die Lösung $x = 0$ für positive Zahlen n kleiner als 1 ein „singular solution" darstellt (Typus I), für Zahlen n größer als 1 aber ein „particular integral". Es ist hier der Fall $n = \frac{3}{2}$ das einfachste Beispiel des Typus II der zugleich singulären und partikulären Lösung, der im übrigen für jeden rationalen gebrochenen Exponenten $n > 1$ vorliegt. Auch Hamburger kommt auf dieselbe Gleichung am Schlusse der Erörterungen zu seinem dritten Beispiel[4])

$$y'^2 X - Y = 0$$

$$X = (x - a_1)(x - a_2) \dots (x - a_m),$$

$$Y = (y - \alpha_1)(y - \alpha_2) \dots (y - \alpha_n).$$

Hier findet sich die Bemerkung, daß, wenn α_λ eine p-fache Wurzel von $Y = 0$ ist (wo $p \geq 2$), $y = \alpha_\lambda$ ein „partikuläres Integral" darstellt, der Entwickelung von y' in der Form

$$y' = g_0 y^{\frac{p}{2}} + \dots$$

entsprechend. Auch in Painlevés schon erwähntem Referat in der Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften ist bei Anführung dieses Beispiels nur von einer „vielfachen gewöhnlichen Lösung" die Rede.

---

[1]) Wir kommen auf dieses Beispiel noch in den Bemerkungen des § 7 zurück.

[2]) Wir erwähnen Serrets Lehrbuch der Differential- und Integralrechnung. 3. deutsche Bearbeitung, herausgegeben von Scheffers. Bd. III, Leipzig 1909.

[3]) Vgl. S. 167 der 3. Ausgabe des Treatise vom Jahre 1872.

[4]) a. a. O. S. 243.

Die elementaren Darstellungen des Gegenstandes beschränken sich zumeist und vielfach ohne die nötigen Vorsichtsmaßregeln auf die Betrachtung des Falles der Umhüllungskurven. Ganz exakt habe ich hier nur in Picards „Traité d'analyse“ [1]) die Bedingung hervorgehoben gefunden, welche alle weiteren Fälle ausschließt. Bei weiterem Eingehen wird die Unterscheidung der Umhüllungskurven (Typus I der obigen Formulierung) und des Ortes von singulären Punkten (IV. Fall) getroffen — so etwa im „Cours d'analyse mathématique“ von Goursat [2]) —, eine Unterscheidung, die ohne einschränkende Zusätze jedenfalls unvollständig ist.

Peano geht in seinen „Applicazioni geometriche del calcolo infinitesimale“ [3]) von der einfach unendlichen Kurvenschar aus und charakterisiert die Bedingung für das Auftreten einer gewöhnlichen Umhüllungskurve durch das Nichtverschwinden einer gewissen Funktionaldeterminante [4]). Von den Fällen, in denen diese verschwindet, wird gleichfalls nicht der allgemeine Typus II hervorgehoben, sondern nur das Eintreten von Berührungen höherer Ordnung (des Typus I) und das Auftreten von singulären Punkten der Kurvenschar. Auch die an Peano anknüpfenden, etwas allgemeineren Formulierungen von Lilienthal in seinen „Vorlesungen über Differentialgeometrie“ [5]) gehen hier über die Erörterung der Berührungen verschiedener Ordnung nicht hinaus. Im „Cours d'analyse infinitésimale“ von Boussinesq [6]) findet sich eine Erörterung über asymptotische Annäherung der allgemeinen Integralkurven an eine Grenzkurve, in welcher (neben nicht hierhergehörigen) auch einige Beispiele des obigen Typus II angeführt sind. Aber die allgemeinen Betrachtungen sind mit der Frage nach der Dichtigkeitsverteilung der Integralkurven (nach dem sogenannten „Grat“ und „Thalweg“ im Beispiel der Falllinien einer Fläche) verquickt, welche wesentlich von der Art, wie die Integrationskonstante im allgemeinen Integral eingeführt ist, abhängt. Dadurch wird die Exaktheit der Darstellung erschwert, welche auch mit den angewandten, mehr räsonierenden als rechnerischen Mitteln nicht zu erreichen ist.

---

[1]) Paris 1896, tom. III, chap. III, S. 49, 50.

[2]) Paris 1902, tom. I, chap. X „Courbes enveloppes“.

[3]) Torino 1887, cap. VII, p. 2. Inviluppi di curve nel piano.

[4]) Vgl. die Darstellung in § 4 der gegenwärtigen Abhandlung.

[5]) Leipzig 1908, erster Teil, Kap. 2 „Einfach unendliche Schar ebener Kurven“.

[6]) Tome I, fasc. II (Compléments), Paris 1887; § 137*—143* und Tome II, fasc. II (Compléments), Paris 1890; § 362*—369*.

Im folgenden habe ich nun versucht, die Frage im besonderen des Auftretens zugleich singulärer und partikulärer Lösungen nach der analytischen wie der geometrischen Seite völlig klarzulegen (§ 1—6). Eine gewisse Ausführlichkeit der Darstellung, bei welcher auch der allgemeine Fall der singulären Lösung mit einbezogen ist, mag dabei gerechtfertigt erscheinen. Es lag mir daran, die auftretenden Möglichkeiten an einer größeren Zahl charakteristischer Beispiele anschaulich zu machen und sie durch graphische Darstellungen zu ergänzen. Dabei erscheint es von Interesse, nicht irgendwelche Beispiele heranzuziehen, sondern dieselben systematisch und jeweils so einfach als möglich auszuwählen. Dazu dienen aber die bei den allgemeinen Erörterungen zu Grunde gelegten Reihenentwickelungen (Gleichung 9 in § 1 und Gleichung 56 und 69 in § 4), die sich einmal auf die aus der Differentialgleichung $F = 0$ herausgehobenen Zweige, das andere Mal auf die für die Gleichung $\Phi = 0$ der Schar der Integralkurven aufzustellenden Entwickelungen beziehen. Über die so gebildeten einfachsten Beispiele hinaus ist dann noch in § 8 die Clairautsche Gleichung behandelt, für welche jede Wendetangente der Umhüllungskurve eine zugleich singuläre und partikuläre Lösung ist und in § 9 die Schar der Krümmungskreise einer ebenen Kurve, in welcher die vierpunktig berührenden Kreise eben diese Eigenschaft besitzen. In § 10 endlich sind die einfachsten festen singulären Stellen, welche auf den singulären Kurven auftreten können, gekennzeichnet.

Für die Herstellung der genauen Zeichnungen bin ich den Herren Assistenten Weigel und Deimler des mathematischen Institutes der hiesigen Technischen Hochschule zu besonderem Danke verpflichtet.

§ 1.

Darstellung der singulären Lösungen aus den Teilfaktoren der Diskriminante D der Differentialgleichung. Die beiden Haupttypen der singulären Integrale.

Wir gehen aus von der schon genannten Arbeit von Hamburger im Journal für die reine und angewandte Mathematik, Band 112 und legen die dort gegebene Reihenentwickelung für die partikulären Integrale in der Nähe einer singulären Lösung, die sich aus der Zerlegung der Diskriminante der Differentialgleichung in ihre linearen Teiler ergibt, zu Grunde. Die hier in Frage kommenden Sätze und Bezeichnungen seien in Kürze vorausgeschickt:

Wir setzen die Differentialgleichung voraus in der Form einer irreduziblen Gleichung n^{ten} Grades in y':

$$1) \qquad F(x, y, y') \quad A_0\, y'^n + A_1\, y'^{n-1} + \ldots + A_n = 0,$$

in welcher die Koeffizienten A_0, A_1, . . . als ganze rationale Funktionen von x und y ohne gemeinsamen Teiler angenommen sind.

$$2) \qquad D(x, y) = 0$$

sei die Diskriminantengleichung, als Resultat der Elimination von y' zwischen

$$3) \qquad F(x, y, y') = 0 \quad \text{und} \quad \frac{\partial F(x, y, y')}{\partial y'} = 0.$$

Ferner sei:

$$4) \qquad y - \eta(x) = 0$$

ein Zweig der Diskriminantenkurve, für welchen wir $\eta(x)$ innerhalb eines Konvergenzbezirkes um einen Punkt $x = a$ der x-Ebene durch eine nach positiven ganzen Potenzen von $(x - a)$ fortschreitende Reihe darstellbar voraussetzen. Wir schließen dabei hier, wie auch in der Folge bei allen allgemeinen Formulierungen, den leicht zu ergänzenden, nur durch die besondere Lage des Koordinatensystems ausgezeichneten Fall aus, daß für diesen Zweig unendlich große Wurzeln y' auftreten.

Nehmen wir an, daß längs des Zweiges $y - \eta(x) = 0$ der Diskriminantenkurve eine Gruppe von σ Zweigen der Funktion y' zusammenhängen, so gilt

für diese für die Umgebung des Punktes $x = a$ der Diskriminantenkurve eine Entwickelung:

$$5)\qquad \frac{d(y-\eta)}{dx} = \zeta - \frac{d\eta}{dx} + g_{\frac{\varkappa}{\alpha}}(y-\eta)^{\frac{\varkappa}{\alpha}} + g_{\frac{\varkappa+1}{\alpha}}(y-\eta)^{\frac{\varkappa+1}{\alpha}} + \ldots .$$

in welcher $\frac{d\eta}{dx}$ die Richtung der Diskriminantenkurve, ζ die Richtung jener untereinander zusammenhängenden Zweige der Integralkurven bedeutet und die Koeffizienten $g_{\frac{\varkappa}{\alpha}}, g_{\frac{\varkappa+1}{\alpha}} \ldots$ nach ganzen positiven Potenzen von $(x-a)$ fortschreitende Reihen sind und $g_{\frac{\varkappa}{\alpha}}$ nicht identisch verschwindet.

„Im allgemeinen" ist dann bekanntlich $\frac{d\eta}{dx}$ von ζ verschieden, der Zweig $y-\eta(x)$ der Diskriminantenkurve **nicht** auch zugleich eine Lösung der Differentialgleichung 1), vielmehr nur ausgezeichnet als Ort von singulären Punkten der Integralkurven. (Vgl. den bekannten Aufsatz von Darboux „Sur les solutions singulières des équations aux dérivées ordinaires du premier ordre" [1]).)

Für jene α Zweige der Integralfunktion aber, welche in einem Punkte $x = x_0$ der Diskriminantenkurve zusammenhängen, läßt sich in diesem allgemeinen Falle eine Reihenentwickelung herstellen von der Form:

$$6)\quad y-\eta(x) = \left(\zeta - \frac{d\eta}{dx}\right)_{x=x_0} \cdot (x-x_0) + \gamma_{\frac{\alpha+1}{\alpha}}(x-x_0)^{\frac{\alpha+1}{\alpha}} + \gamma_{\frac{\alpha+2}{\alpha}}(x-x_0)^{\frac{\alpha+2}{\alpha}} + \ldots$$

Ist dagegen jener Zweig $y-\eta(x) = 0$ der Diskriminantenkurve zugleich Lösung der Differentialgleichung, so bezeichnen wir ihn nach der in der Einleitung, S. 4 gegebenen Definition als eine **singuläre Lösung**. Es besteht für ihn neben den Gleichungen 3) noch die Gleichung:

$$7)\qquad \frac{\partial F(x,y,y')}{\partial x} + y' \frac{\partial F(x,y,y')}{\partial y'} = 0$$

und in der obigen Reihenentwickelung 5) wird längs dieses Zweiges

$$8)\qquad \zeta(x) = \frac{d\eta}{dx},$$

so daß die Entwickelung 5) übergeht in die Gleichung:

$$9)\qquad \frac{d(y-\eta)}{dx} = g_{\frac{\varkappa}{\alpha}}(y-\eta)^{\frac{\varkappa}{\alpha}} + g_{\frac{\varkappa+1}{\alpha}}(y-\eta)^{\frac{\varkappa+1}{\alpha}} + \ldots$$

---

[1]) Bulletin des sciences math., Bd. IV, 1873.

Diese Gleichung bildet den Ausgangspunkt für unsere Betrachtungen.

Vor allem sind die beiden von Hamburger aufgestellten Hauptfälle zu unterscheiden:

$$10)\qquad \begin{cases} \text{Typus I:} & \alpha - \varkappa \geqq 1 \\ \text{Typus II:} & \alpha - \varkappa < 1. \end{cases}$$

Typus I.

Führen wir im ersten Falle durch die Substitution

$$11)\qquad y - \eta(x) = u^\alpha$$

die Differentialgleichung 9) auf die Gleichung

$$12)\qquad \frac{dx}{du} = \frac{\alpha \cdot u^{\alpha - \varkappa - 1}}{g_{\frac{\varkappa}{\alpha}} + g_{\frac{\varkappa+1}{\alpha}} u + g_{\frac{\varkappa+2}{\alpha}} u^2 + \dots}$$

zurück, in welcher also der Exponent $\alpha - \varkappa - 1$ eine positive ganze Zahl oder Null ist, so läßt sich deren Integral in Gestalt einer Potenzreihe nach steigenden Potenzen von u:

$$13)\qquad x - x_0 = \beta_{\frac{\alpha-\varkappa}{\alpha}} u^{\alpha-\varkappa} + \beta_{\frac{\alpha-\varkappa+1}{\alpha}} u^{\alpha-\varkappa+1} + \dots$$

darstellen, wo

$$\beta_{\frac{\alpha-\varkappa}{\alpha}} = \frac{\alpha}{\alpha - \varkappa} \cdot \left(\frac{1}{g_{\frac{\varkappa}{\alpha}}}\right)_{x = x_0},$$

und $g_{\frac{\varkappa}{\alpha}}$ in unserem Bereich nicht identisch verschwindet. Es folgt also für die Umgebung einer allgemeinen Stelle x_0 der Kurve $y - \eta(x) = 0$ das Integral der Gleichung 9) in Form der Reihenentwickelung

$$14)\qquad x - x_0 = \beta_{\frac{\alpha-\varkappa}{\alpha}} (y - \eta)^{\frac{\alpha-\varkappa}{\alpha}} + \beta_{\frac{\alpha-\varkappa+1}{\alpha}} u^{\frac{\alpha-\varkappa+1}{\alpha}} + \dots$$

oder ihrer Umkehrung:

$$15)\qquad y - \eta(x) = \delta_{\frac{\alpha}{\alpha-\varkappa}} (x - x_0)^{\frac{\alpha}{\alpha-\varkappa}} + \delta_{\frac{\alpha+1}{\alpha-\varkappa}} (x - x_0)^{\frac{\alpha+1}{\alpha-\varkappa}} + \dots,$$

in welcher letzteren der Exponent der niedrigsten Potenz von $(x - x_0)$ größer als Eins ist.

Typus I der singulären Lösungen ist also dadurch charakterisiert, daß der Zweig $y - \eta(x) = 0$ der Diskriminantenkurve eine gemeinsame **Berührungskurve** für die durch Gleichung 15) gegebene Schar von partikulären Integralkurven darstellt.

Für den

Typus II: $\alpha - 1 < \varkappa$

ergibt die Substitution

$$y - \eta(x) = u^{\alpha} \tag{11}$$

in die Gleichung 9) eine Differentialgleichung

$$\frac{du}{dx} = \frac{1}{\alpha}\, u^{\varkappa-(\alpha-1)} \cdot \left(g_{\frac{\varkappa}{\alpha}} + g_{\frac{\varkappa+1}{\alpha}}\, u + g_{\frac{\varkappa+2}{\alpha}}\, u^2 + \ldots\right), \tag{16}$$

in welcher jetzt $\varkappa - (\alpha - 1)$ eine von Null verschiedene, positive, ganze Zahl ist.

Diese Differentialgleichung aber besitzt nach einem bekannten, auf Briot-Bouquet zurückgehenden Satz außer $u = 0$ kein für einen willkürlichen Wert $x = x_0$ verschwindendes Integral.

$y - \eta(x) = 0$, die singuläre Lösung, ist also zugleich das einzige, durch diesen Punkt der Diskriminantenkurve gehende Integral der Differentialgleichung 1). Es ist also

Typus II dadurch gekennzeichnet, daß der Zweig $y - \eta(x) = 0$ der Diskriminantenkurve zugleich **singuläre Lösung** und **partikuläres Integral** ist.

Nehmen wir zunächst nur das Auftreten von Doppelwurzeln y' längs des Zweiges $y - \eta(x) = 0$ der Diskriminantenkurve an, so ist der einfachste Fall von Typus I charakterisiert durch $\alpha = 2$, $\varkappa = 1$, also durch die für die partikulären Integralkurven gültige Entwickelung:

$$\frac{d(y - \eta(x))}{dx} = g_{\frac{1}{2}} \cdot (y - \eta(x))^{\frac{1}{2}} + g_1 (y - \eta(x)) + g_{\frac{3}{2}} \cdot (y - \eta(x))^{\frac{3}{2}} + \ldots, \tag{17}$$

wo $g_{\frac{1}{2}}$ nicht identisch verschwindet.

Dagegen liegt der einfachste Fall von Typus II vor für $\alpha = 2$, $\varkappa = 2$, also in der Entwickelung:

$$\frac{d(y - \eta(x))}{dx} = g_1 (y - \eta(x)) + g_{\frac{3}{2}} (y - \eta(x))^{\frac{3}{2}} + \ldots \tag{18}$$

Der Vergleich dieser beiden Gleichungen, von denen die erste mit der $\frac{1}{2}^{\text{ten}}$, die zweite mit der $\frac{2}{2}^{\text{ten}}$ Potenz von $y - \eta(x)$ beginnt, rechtfertigt es, den Typus I einer eigentlichen Umhüllungskurve der einfach berührenden Integralkurven (17) als den allgemeinen Fall des Auftretens von singulären Lösungen zu bezeichnen.

§ 2.

Die singulären Lösungen vom Typus I (Berührungskurven).

Zunächst einige Bemerkungen über den Typus der Berührungskurve, die wir einer zusammenhängenden Darstellung des Ganzen wegen hier einschalten. Die Gleichung 15) für die partikulären Integralkurven

$$15) \qquad y - \eta(x) = \delta_{\frac{\alpha}{\alpha-\varkappa}} (x - x_0)^{\frac{\alpha}{\alpha-\varkappa}} + \delta_{\frac{\alpha+1}{\alpha-\varkappa}} (x - x_0)^{\frac{\alpha+1}{\alpha-\varkappa}} + \ldots$$

der Differentialgleichung

$$9) \qquad \frac{d(y-\eta(x))}{dx} = g_{\frac{\varkappa}{\alpha}} (y-\eta)^{\frac{\varkappa}{\alpha}} + g_{\frac{\varkappa+1}{\alpha}} (y-\eta)^{\frac{\varkappa+1}{\alpha}} + \ldots$$

läßt uns zunächst den Fall

$$19) \qquad \alpha - \varkappa = 1$$

herausheben.

Die singuläre Lösung $y - \eta(x) = 0$ wird von den Zweigen der partikulären Integralkurven in der Ordnung $\alpha - 1$ berührt.

Wenn α eine gerade Zahl ist, so wird nur die eine Seite der singulären Kurve von den Zweigen der Integralkurven überdeckt und zwar doppelt, und jene bildet eine eigentliche Umhüllungskurve für die Zweige der partikulären Integrale. Ist dagegen α eine ungerade Zahl, so wird das Gebiet der xy-Ebene zu beiden Seiten der singulären Kurve je einfach überdeckt von den Zweigen der partikulären Integralkurven, welche jene berührend durchsetzen.

Die Figur 26 des folgenden § 9, welche die Krümmungskreise einer Parabel darstellt, mag diesen Fall der Berührung mit Durchsetzung veranschaulichen.

Ist

$$20) \qquad \alpha - \varkappa > 1,$$

so haben die Integralkurven auf der Diskriminantenkurve singuläre Punkte (Ordnungssingularitäten).

Bezeichnet man, wie üblich, als Ordnung λ der Berührung zweier Kurven die Anzahl der für beide an der Berührungsstelle übereinstimmenden Differentialquotienten, hier also der für das partikuläre Integral und die singuläre Lösung für $x = x_0$ sich ergebenden gemeinsamen Werte von $\eta, \eta' \ldots \eta^{\lambda}$, so ist sie definiert als die größte in $\frac{\alpha}{\alpha - \varkappa}$ enthaltene ganze Zahl und falls $\frac{\alpha}{\alpha - \varkappa}$ selbst ganzzahlig ist, als die Zahl $\frac{\alpha}{\alpha - \varkappa} - 1$. (Hamburger, a. a. O., S. 217.) Der Unterschied der Überdeckung nur einer oder der beiden Seiten der singulären Kurve durch die berührenden Kurvenzweige, also die Unterscheidung umhüllend berührender und durchsetzend berührender singulärer Kurven hängt jetzt nicht mehr von der ungeraden oder geraden Ordnung λ ab, ergibt sich aber in einfachster Weise aus den bekannten Formen der singulären Punkte, wenn man in Gleichung 15) noch die Abbildung

$$Y = y - \eta(x), \quad X = x$$

auf eine Ebene X, Y einfügt, in welcher die singuläre Kurve durch die Gerade $Y = 0$ gebildet wird.

Um nur die einfachsten Fälle zu charakterisieren, seien hier die Figuren eingeschaltet, welche den Anfangswerten

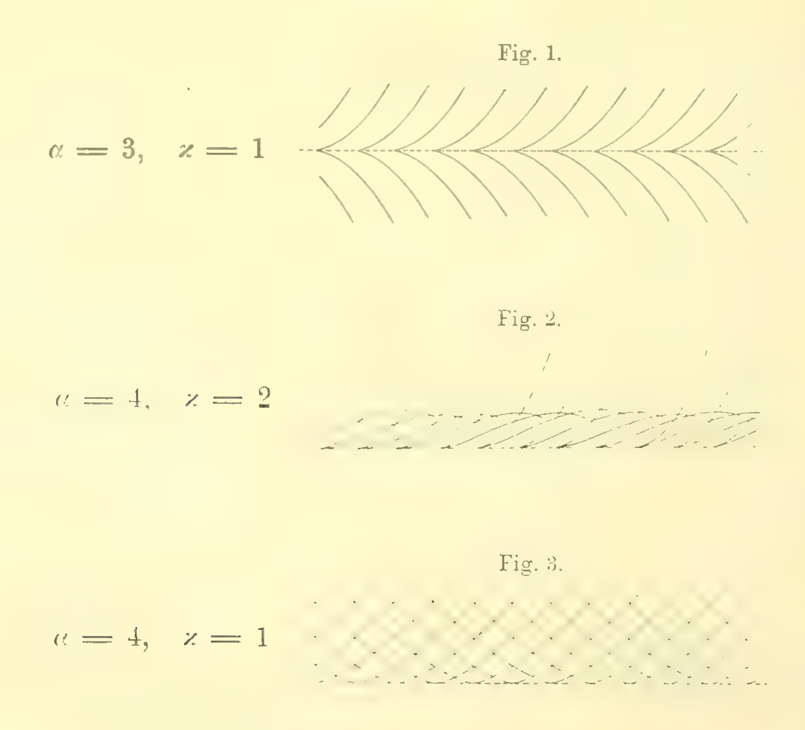


Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

entsprechen, also den Entwickelungen:

$$
\begin{aligned}
&y - \eta(x) = \delta_{\frac{3}{2}}(x - x_0)^{\frac{3}{2}} + \dots, \\
22) \qquad &y - \eta(x) = \delta_2 (x - x_0)^2 + \delta_{\frac{5}{2}}(x - x_0)^{\frac{5}{2}} + \dots \\
&y - \eta(x) = \delta_{\frac{4}{3}}(x - x_0)^{\frac{4}{3}} + \dots.
\end{aligned}
$$

Die im allgemeinen irreduzible Gleichung

$$
23) \qquad (y - \eta(x))^2 = a_4 (x - x_0)^4 + a_5 (x - x_0)^5 + \dots
$$

endlich kennzeichne den einfachsten Fall einer Selbstberührung je zweier Zweige der partikulären Integrale längs der singulären Kurve $y = \eta(x)$. Den beiden Zweigen entsprechen längs $y - \eta(x) = 0$ die beiden Entwickelungen:

$$
24) \qquad y - \eta(x) = \pm \sqrt{a_4}(x - x_0)^2 \cdot \left(1 + \frac{a_5}{2 a_4}(x - x_0) + \dots\right).
$$

Ist a_4 eine negative Zahl, so verläuft die singuläre Linie $y = \eta(x)$ isoliert[1].

---

[1] In der von Scheffers bearbeiteten neuen dritten Auflage des Serretschen Lehrbuches der Differential- und Integralrechnung findet sich auf Seite 109 für eine isoliert verlaufende singuläre Lösung einer Differentialgleichung das Beispiel

$$
y'^2 + y^2 e^x = 0
$$

angeführt. Hier handelt es sich aber nicht um eine singuläre Lösung, sondern die einzige der Differentialgleichung genügende reelle Kurve $y = 0$ ist ein partikuläres Integral derselben. Die Differentialgleichung ist nämlich reduzibel und zerfällt in die beiden konjugierten Gleichungen

$$
y' + i y \cdot e^{\frac{x}{2}} = 0 \qquad \text{und} \qquad y' - i y e^{\frac{x}{2}} = 0,
$$

welche beide $y = 0$ als partikuläre Lösung besitzen. Dieser Fall läßt sich natürlich auch allgemein auf die einfachste Weise herstellen. Wir setzen

$$
\varphi(x, y, y') + i \psi(x, y, y') = 0,
$$

wo φ und ψ reelle Funktionen von x, y, y' bedeuten. Dann hat diese Differentialgleichung isolierte reelle partikuläre Integrale, wenn die Differentialgleichungen

$$
\varphi(x, y, y') = 0 \qquad \text{und} \qquad \psi(x, y, y') = 0
$$

gemeinsame Integrale besitzen. Statt des Differentialausdruckes $\psi(x, y, y')$ mag man auch ein partikuläres Integral der Differentialgleichung $\varphi = 0$ setzen. Einfachstes Beispiel ist also etwa:

$$
y' + i y = 0.
$$

§ 3.

Das Verhalten der Integralkurven in der Umgebung einer singulären Lösung vom Typus II (Grenzkurven).

Wir gehen aus von Gleichung 16)

$$16)\qquad \frac{du}{dx} = \frac{1}{\alpha} \cdot u^{\varkappa-(\alpha-1)} \cdot \left(g_{\frac{\varkappa}{\alpha}} + g_{\frac{\varkappa+1}{\alpha}} u + g_{\frac{\varkappa+2}{\alpha}} u^2 + \ldots\right) = \frac{1}{\alpha} u^{\varkappa-(\alpha-1)} \cdot P(x, u),$$

wo, wie erwähnt, $\varkappa - (\alpha - 1) \geqq 1$ ist und die g_ν Potenzreihen nach Potenzen von $(x - a)$ bezeichnen. Die Doppelreihe $P(x, u)$ konvergiere innerhalb eines vierfach ausgedehnten Gebietes, welches durch einen Kreis vom Radius r um den Punkt $x = a$ in der Ebene der komplexen Zahlen x und durch einen Kreis vom Radius R um den Punkt $u = 0$ in der Ebene der komplexen Zahlen u gegeben ist. Ist nun weiter $P(x, u)$ so beschaffen, daß für alle $(x - a)$ und u des Bereiches

$$25)\qquad |x - a| < r - \varepsilon \quad \text{und} \quad |u| \leqq R - \varepsilon,$$

wie klein auch die positive Zahl ε genommen werde, der absolute Betrag von $P(x, u)$ unter einer endlichen (von ε abhängigen) Schranke bleibt, also

$$26)\qquad |P(x, u)| < G_\varepsilon$$

ist, so folgt aus bekannten Sätzen der Reihenlehre (vgl. einen Aufsatz von P. Stäckel „Über Potenzreihen von mehreren Veränderlichen“ [1])), daß die Reihe $P(x, u)$ als Doppelreihe absolut konvergiert und somit konvergent bleibt, wenn man in den g_ν alle Koeffizienten durch ihre Absolutwerte und ebenso $(x - a)$ und u durch ihre absoluten Beträge ersetzt. Ersetzen wir aber in den g_ν alle Koeffizienten durch ihre absoluten Beträge und weiter noch den Wert $(x - a)$ überall durch $(r - \varepsilon)$ — es mögen die so aus den g_ν resultierenden Werte mit $\overline{g}_\nu$ bezeichnet werden: Dann ist durchweg für alle x des Bereiches $|x - a| \leqq r - \varepsilon$

$$27)\qquad |g_\nu| \leqq \overline{g}_\nu$$

---

[1]) Jahresberichte der deutschen Mathematikervereinigung, Bd. 15 (1906), S. 585.

und die Reihe

$$28)\qquad \bar{P}(x, u) = \bar{g}_{\frac{\varkappa}{a}} + \bar{g}_{\frac{\varkappa+1}{a}}\, u + \bar{g}_{\frac{\varkappa+2}{a}}\, u^2 + \dots$$

absolut konvergent für $|u| \leq R - \varepsilon$.

Jetzt vergleichen wir, und zwar mit Rücksicht auf unsere geometrische Frage im Gebiet der reellen Variabeln x und u, die Differentialgleichung 16) für positive reelle Werte von u mit der Differentialgleichung

$$29)\qquad \frac{du}{dx} = \frac{1}{a} \cdot u^{\varkappa-(a-1)} \cdot \left(\bar{g}_{\frac{\varkappa}{a}} + \bar{g}_{\frac{\varkappa+1}{a}}\, u + \bar{g}_{\frac{\varkappa+2}{a}}\, u^2 + \dots\right),$$

für negative reelle Werte von u mit der Differentialgleichung

$$30)\qquad \frac{d(-u)}{dx} = \frac{1}{a} \cdot (-u)^{\varkappa-(a-1)} \left(\bar{g}_{\frac{\varkappa}{a}} - \bar{g}_{\frac{\varkappa+1}{a}}\, u + \bar{g}_{\frac{\varkappa+2}{a}}\, u^2 - \dots\right).$$

Diese Gleichungen definieren, in der Ebene der reellen Zahlen (x, u) gedeutet, an jeder Stelle $x = x_0$, $u = u_0$ einen Richtungswinkel gegen die x-Achse, welcher, wenn u von 0 bis $|R - \varepsilon|$ zunimmt, stetig von 0 bis zu einem Höchstwerte ansteigt bzw. wenn u von 0 bis $-|R - \varepsilon|$ abnimmt, stetig von 0 bis zu einem Minimalwert abfällt. Die durch die Gleichung 30) gegebenen, für negative u geltenden Richtungen sind dabei mit Bezug auf die x-Achse symmetrisch zu den durch die Gleichung 29) gegebenen Richtungen. Weiter aber sind diese Neigungen gegen die x-Achse an jeder Stelle größer, höchstens gleich den durch die Gleichung 16) gegebenen. Folgen wir also vom Punkte $x = x_0$, $u = u_0$ aus der durch diesen Punkt hindurchlaufenden Integralkurve von 16) mit wachsendem x, so liegt dieselbe von da ab innerhalb des Gültigkeitsbereiches dieser Gleichung stets der x-Achse näher als die durch eben diesen Punkt x_0, u_0 gehende Integralkurve der Gleichung 29) bzw. 30).

Um nun noch zu zeigen, daß die zueinander symmetrischen Integralkurven der Gleichungen 29) und 30) sich der Integralkurve $u = 0$ in unserem Bereich flacher und flacher werdend unbegrenzt annähern, wenn wir den Ausgangspunkt $x = x_0$, $u = u_0$ mit abnehmendem u_0 an die x-Achse heranrücken, ziehen wir zwei weitere, aus 29) und 30) zu gewinnende, einfachste Differentialgleichungen zum Vergleiche heran, die gleichfalls wieder für positive und negative Werte von u je zur x-Achse symmetrische Richtungen definieren.

Wir ändern zunächst den Maßstab in der Richtung u so, daß der neue Konvergenzradius gleich 1 wird (eine Transformation, die natürlich nur nötig ist, falls nicht von vornherein $(R - \varepsilon) \geq 1$ ist), und setzen zu dem Ende

$$31)\qquad u = v \cdot (R - \varepsilon), \quad (R - \varepsilon) < 1.$$

Dann geht (29) über in

32) $\frac{dv}{dx} = \frac{1}{\alpha}\cdot(R-\varepsilon)^{\varkappa-\alpha}\cdot v^{\varkappa-(\alpha-1)}\cdot(\bar{g}_{\frac{\varkappa}{\alpha}} + \bar{g}_{\frac{\varkappa+1}{\alpha}}(R-\varepsilon)\cdot v + \bar{g}_{\frac{\varkappa+2}{\alpha}}(R-\varepsilon)^2\cdot v^2 + \ldots)$,

wo die Reihe rechts konvergiert von v gleich Null bis Eins einschließlich. Die Größen $g_\nu\cdot(R-\varepsilon)^\nu$ müssen daher sämtlich kleiner, höchstens gleich einem endlichen Werte $\bar{m}$ sein. Ersetzen wir sie sämtlich durch ebendiesen Wert, so ergibt sich eine neue Differentialgleichung:

33) $$\frac{dv}{dx} = \frac{1}{\alpha}\cdot(R-\varepsilon)^{\varkappa-\alpha}\cdot v^{\varkappa-(\alpha-1)}\cdot\frac{\bar{m}}{1-v},$$

die wir an Stelle von Gleichung 29) treten lassen, und ebenso folgt die (symmetrische) Gleichung

34) $$\frac{d(-v)}{dx} = \frac{1}{\alpha}(R-\varepsilon)^{\varkappa-\alpha}\cdot(-v)^{\varkappa-(\alpha-1)}\cdot\frac{\bar{m}}{1+v}$$

an Stelle von Gleichung 30).

Für die Vergleichung dieser beiden Differentialgleichungen mit der aus der ursprünglichen Gleichung 16) gewonnenen Gleichung

35) $\frac{dv}{dx} = \frac{1}{\alpha}\cdot(R-\varepsilon)^{\varkappa-\alpha}\cdot v^{\varkappa-(\alpha-1)}\cdot(g_{\frac{\varkappa}{\alpha}} + g_{\frac{\varkappa+1}{\alpha}}(R-\varepsilon)\cdot v + g_{\frac{\varkappa+2}{\alpha}}(R-\varepsilon)^2\cdot v^2 + \ldots)$

gilt dann ebenso wie oben für die Gleichungen 16), 29) und 30), daß die von einem Punkte x_0, u_0 mit wachsenden x auslaufende Integralkurve der Gleichung 35) in unserem Konvergenzgebiete durchweg der x-Achse näher liegt als die von ebendiesem Punkte ausgehende, der Gleichung 33) bzw. 34) genügende Integralkurve.

Diese letzteren ergeben sich aber direkt durch Integration. Beschränken wir uns auf positive Werte von u bzw. von v, so ergibt die Integration der Gleichung 33), wenn wir zur Abkürzung

36) $$\frac{1}{\alpha}(R-\varepsilon)^{\varkappa-\alpha}\cdot\bar{m} = M$$

setzen:

a) wenn $\varkappa-\alpha = 0$ ist, aus

37) $$\frac{dv}{dx} = M\cdot\frac{v}{1-v}$$

das Integral:

38) $$M\cdot(x+C) = \log v - v,$$

b) wenn $\varkappa - \alpha = 1$ ist, aus

$$\frac{dv}{dx} = M \cdot \frac{v^2}{1-v} \tag{39}$$

das Integral:

$$M(x + C) = -\log v - \frac{1}{v}; \tag{40}$$

und endlich,

c) wenn $\varkappa - \alpha > 1$ ist, aus

$$\frac{dv}{dx} = M \cdot \frac{v^{\varkappa-\alpha+1}}{1-v} \tag{41}$$

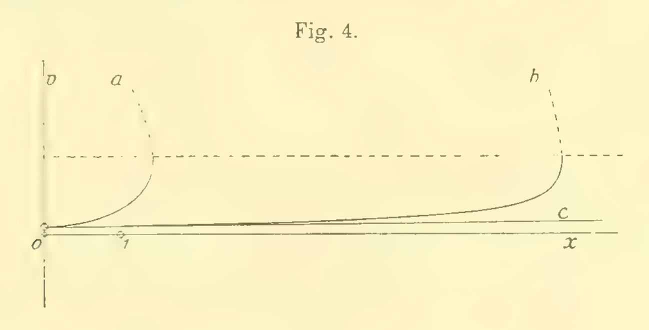
das Integral:

$$M \cdot (x + C) = \frac{1}{\varkappa-\alpha-1} \cdot \frac{1}{v^{\varkappa-\alpha-1}} - \frac{1}{\varkappa-\alpha} \cdot \frac{1}{v^{\varkappa-\alpha}}. \tag{42}$$

Diese Integrale stellen im Intervall $0 < v < 1$ obere Grenzen für den Verlauf der durch die Differentialgleichung 35) bestimmten Integrale dar und charakterisieren zugleich die stetige Annäherung der Integralkurven an die x-Achse als Grenze: Dadurch nämlich, daß wir $v = v_0$ genügend klein wählen, können wir an jeder Stelle $x = x_0$ erreichen, daß sich die Vergleichskurve und damit auch innerhalb des endlichen Gültigkeitsbereiches unserer Näherung die durch x_0, v_0 laufende Integralkurve der Gleichung 35) vorgeschrieben nahe an der x-Achse hin erstreckt. Für das Intervall $0 > v > -1$ tritt analog die Gleichung 34) ein, welche die zu den eben betrachteten symmetrischen Kurven in der $(x\,v)$-Ebene gibt.

In der nebenstehenden Figur 4 ist der Verlauf der drei den Fällen a, b und c entsprechenden Vergleichskurven, die durch die Gleichungen 38), 40) und 42) gegeben sind, dargestellt. Es ist dabei $M = 1$ angenommen und die Gleichung 42) für den Fall $\varkappa - \alpha = 2$ aufgetragen. Die Konstante C ist dabei jeweils so bestimmt, daß die drei Vergleichskurven durch den Punkt $x_0 = 0$, $v_0 = 0{,}1$ hindurchgehen.

Fig. 4.



In Figur 5 sind die durch die Punkte $x_0 = 0$, $v_0 = 0{,}1$ und $x_0 = 0$, $v_0 = -0{,}1$ laufenden Integralkurven

43) $$x - x_0 = (\log v - \log v_0) - (\log(1 + v) - \log(1 + v_0))$$

der Differentialgleichung

44) $$\frac{dv}{dx} = v + v^2$$

dargestellt und daneben, um das Verhalten der Näherung an einem einfachsten Beispiel zu zeigen, die entsprechenden Vergleichskurven (Fall a, $\varkappa - \alpha = 0$)

38a) $$x - x_0 = (\log v - \log v_0) - (v - v_0)$$

(durch $x_0 = 0$, $v_0 = +0{,}1$) bezw.

38b) $$x - x_0 = (\log v - \log v_0) + (v - v_0)$$

(durch $x_0 = 0$, $v_0 = -0{,}1$), die den Differentialgleichungen

37a) $$\frac{dv}{dx} = \frac{v}{1-v}$$

und

37b) $$\frac{dv}{dx} = \frac{v}{1+v}$$

entsprechen und für jene beiden eine obere bzw. untere Grenze bilden.

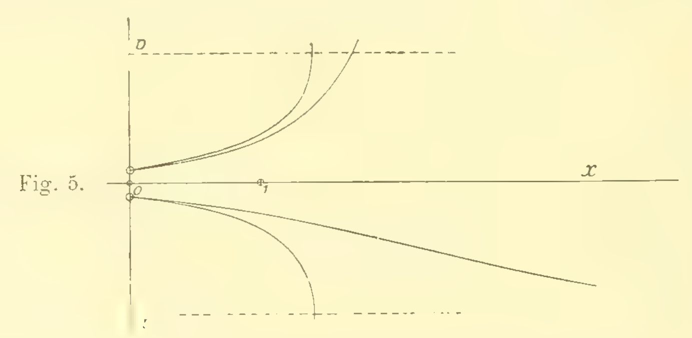


Fig. 5.

In Figur 6 endlich ist das charakteristische Bild für die Annäherung der Gesamtheit der einer Differentialgleichung 32) (und allgemeiner 35)) entsprechenden Integralkurven an die x-Achse durch die Darstellung einer Serie von Integralen der Gleichung 44) gegeben.

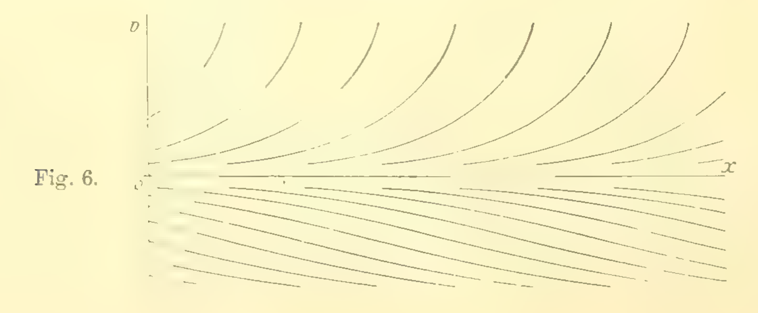


Fig. 6.

Die gleiche Art der Annäherung der Integralkurven an die x-Achse gilt nunmehr auch, wenn wir durch die Substitution

$$31) \qquad u = v \cdot (R - \varepsilon)$$

von 35) auf die durch die Differentialgleichung 16)

$$16) \qquad \frac{du}{dx} = \frac{1}{a} u^{\varkappa - (a-1)} \cdot (g_{\frac{\varkappa}{a}} + g_{\frac{\varkappa+1}{a}} u + g_{\frac{\varkappa+2}{a}} u^2 + \dots)$$

in der $(x\,u)$-Ebene definierten Kurven zurückgehen. Von diesen aber kommen wir zu dem System der durch die ursprüngliche Differentialgleichung 9)

$$9) \qquad \frac{d(y-\eta)}{dx} = g_{\frac{\varkappa}{a}} (y-\eta)^{\frac{\varkappa}{a}} + g_{\frac{\varkappa+1}{a}} (y-\eta)^{\frac{\varkappa+1}{a}} + g_{\frac{\varkappa+2}{a}} (y-\eta)^{\frac{\varkappa+2}{a}} + \dots$$

gegebenen Kurven in der $(x\,y)$-Ebene durch die Abbildung der $(x\,u)$-Ebene in die $(x\,y)$-Ebene, welche durch die Gleichung

$$11) \qquad y - \eta = u^a$$

vermittelt wird. Für diese Abbildung haben wir die beiden Fälle α gerade und α ungerade zu unterscheiden:

Im ersteren Falle erscheinen für den Gültigkeitsbereich unserer Entwickelungen die beiden Teile der $(x\,u)$-Ebene längs der x-Achse für positive und negative Werte von u auf die eine Seite $y - \eta(x) > 0$ der Kurve $y - \eta(x) = 0$ in der $(x\,y)$-Ebene abgebildet und ist dieses Gebiet von den Bildkurven von 16) doppelt überdeckt; wie umgekehrt den positiven reellen Werten der Funktion $y - \eta(x)$ zwei reelle Wurzeln u der Gleichung 11) entsprechen.

Im zweiten Falle wird für den Gültigkeitsbereich die positive Halbebene (x, u) (für $u > 0$) auf das Gebiet $y - \eta(x) > 0$, die negative Halbebene $u < 0$ auf das Gebiet $y - \eta(x) < 0$ abgebildet und beide Gebiete je von den Bildkurven von 16) einfach überdeckt, wie umgekehrt die Gleichung 11) für jeden reellen Wert der Funktion $y - \eta(x)$ eine und nur eine reelle Wurzel u besitzt.

Im Falle eines geraden α erscheint also die Kurve $y - \eta(x) = 0$ als zugleich singuläre Lösung und partikuläres Integral unserer Differentialgleichung als **Grenzkurve** im eigentlichen Sinne, bis zu welcher hin die Kurven des allgemeinen Integrals sich in doppelter Überdeckung des Gebietes $y - \eta(x) > 0$ und mit asymptotischer Annäherung an die Grenzkurve (wenn es ge-

stattet ist, diesen Ausdruck den obigen Erläuterungen entsprechend zu gebrauchen) erstrecken.

Im Falle eines ungeraden α bildet die Kurve $y - \eta(x) = 0$ nicht eigentlich eine Grenzkurve im gewöhnlichen Sinne des Wortes, hat aber gleichwohl wegen des Zusammenrückens imaginärer Gebiete der Integralkurven die Bedeutung einer zugleich singulären und partikulären Lösung.

Die beiden Fälle mögen als **Grenzkurven erster Art** (eigentliche Grenzkurven) und **Grenzkurven zweiter Art** unterschieden sein.

Beispiele.

Wir fügen zur Veranschaulichung noch einige graphische Darstellungen an, für welche wir die möglichst einfachen Fälle wählen.

Setzen wir in Gleichung 44) (für $v = u$)

$$\text{44)} \qquad \frac{du}{dx} = u + u^2$$

einerseits

$$\text{45)} \qquad u = y^{\frac{1}{2}},$$

andererseits

$$\text{46)} \qquad u = y^{\frac{1}{3}},$$

so ergeben sich in den Differentialgleichungen

$$\text{47)} \qquad \frac{dy}{dx} = 2y + 2y^{\frac{3}{2}}$$

beziehungsweise

$$\text{48)} \qquad \frac{dy}{dx} = 3y + 3y^{\frac{4}{3}}$$

die einfachsten Beispiele von Differentialgleichungen vom Typus II, für welche längs der x-Achse zwei beziehungsweise drei Zweige der Funktion y' zusammenhängen, also von Grenzkurven erster und zweiter Art.

Die Figuren 7 und 8, welche durch Vermittelung der in den Gleichungen 45) und 46) vorliegenden Abbildung der $(x\,u)$-Ebene auf die $(x\,y)$-Ebene aus Figur 6 erhalten sind, stellen diese beiden Fälle dar.

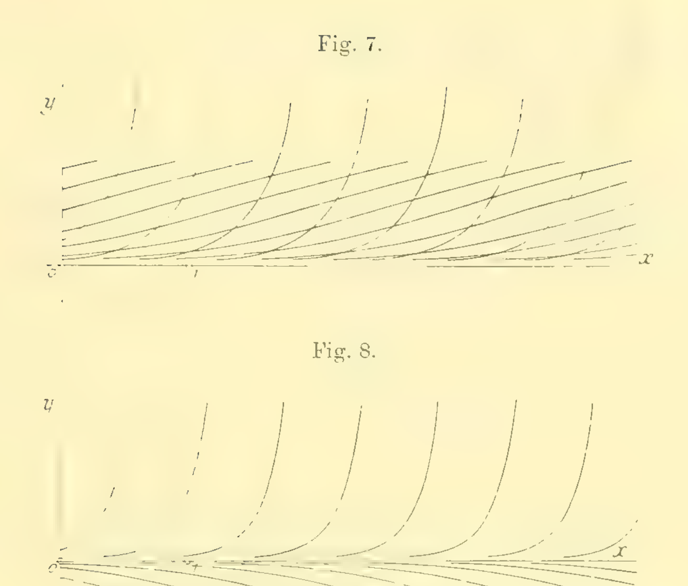


Fig. 7.

Fig. 8.

Wählt man aber statt dieser Abbildungen die nächst einfachen

49) $$u = (y - x^2)^{\frac{1}{2}}$$

beziehungsweise

50) $$u = (y - x^2)^{\frac{1}{3}},$$

so ergeben sich aus Fig. 6 die gestaltlich allgemeineren Figuren Fig. 9 und 10, mit $y - x^2 = 0$ als zugleich singulärer und partikulärer Lösung.

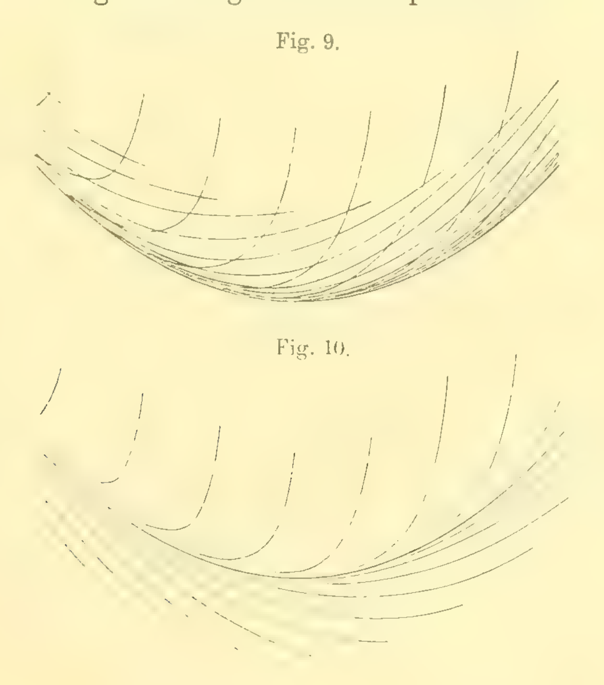


Fig. 9.

Fig. 10.

Die Figuren 11 und 12 endlich beziehen sich auf die Differentialgleichungen

51) $$\frac{dy}{dx} = y^{\frac{3}{2}} \quad \text{und} \quad \frac{dy}{dx} = y^{\frac{4}{3}}$$

als einfachste Fälle unserer Differentialgleichungen, für welche die Integrale algebraische Kurven sind.

Fig. 11.

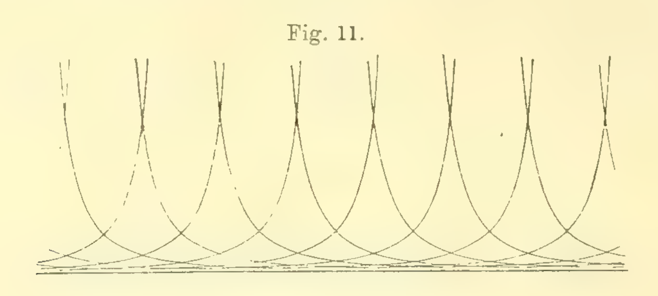
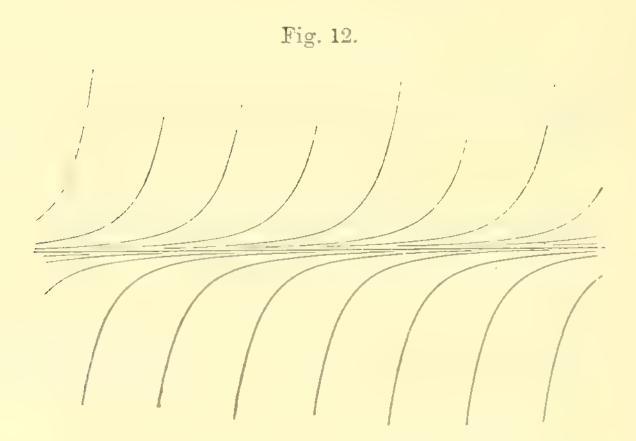


Fig. 12.



Übrigens sehe man hiezu noch das Beispiel der Kurven zweiten Grades in § 6, S. 32.

§ 4.

Darstellung der singulären Lösungen für eine Kurvenschar $\Phi(x, y, z) = 0$ aus den Teilfaktoren der Diskriminante Δ dieser Gleichung.

Knüpfen wir nunmehr die Darstellung der singulären Lösungen an die Darstellung der Kurvenschar durch eine Gleichung

$$\Phi(x, y, z) = 0,$$

welche einen Parameter z algebraisch im n^{ten} Grade enthält, also an eine Gleichung:

$$\Phi(x, y, z) \equiv z^n + B_1 z^{n-1} + B_2 z^{n-2} + \ldots + B_n = 0, \tag{52}$$

in welcher die Koeffizienten $B_1, B_2 \ldots B_n$ nach ganzen, positiven Potenzen von $(x-a)$ und $(y-b)$ fortschreitende, in der Umgebung des Wertepaares $x = a$, $y = b$ konvergente Reihen bezeichnen.

Hamburger hat a. a. O. (S. 227 u. ff.) gezeigt, daß sich in dieser Form mit z als Integrationskonstante das allgemeine Integral unserer Differentialgleichung 1) für die Umgebung eines Punktes (a, b) darstellen läßt.

Sei nun

$$y - \eta(x) = 0 \tag{53}$$

ein Zweig der Diskriminantenkurve

$$\Delta = 0, \tag{54}$$

welche wir durch Elimination von z aus den beiden Gleichungen

$$\Phi(x, y, z) = 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0 \tag{55}$$

erhalten und in welchem p Werte von z den Wert $z = \zeta(x)$ annehmen mögen, so gilt, wenn wir die Funktion Φ nach Potenzen von $y - \eta(x)$, $z - \zeta(x)$ entwickeln, die Gleichung:

$$\Phi(x, y, z) \equiv (y - \eta) \cdot \mathfrak{P}(y - \eta, z - \zeta) + (z - \zeta)^p \cdot \mathfrak{Q}(y - \eta, z - \zeta) = 0, \tag{56}$$

in welcher $\mathfrak{P}$ und $\mathfrak{Q}$ Potenzreihen nach ganzen Potenzen von $y - \eta$, $z - \zeta$ bezeichnen, deren Koeffizienten noch von x abhängen und wobei $\mathfrak{Q}$ für $y - \eta$, $z - \zeta$ nicht verschwindet.

Schließen wir zunächst den Fall aus, daß sich die Funktion $\zeta(x)$ längs $y = \eta(x)$ auf eine Konstante reduziert, so ergibt sich (vgl. Hamburger, a. a. O.) für je α Zweige der partikulären Integralkurven ($\alpha < p$) eine Entwickelung von $z - \zeta(x)$ nach Potenzen von $y - \eta(x)$ in der Form

57) $$z - \zeta(x) = \gamma_{\frac{\varkappa}{\alpha}}(y-\eta)^{\frac{\varkappa}{\alpha}} + \gamma_{\frac{\varkappa+1}{\alpha}}(y-\eta)^{\frac{\varkappa+1}{\alpha}} + \dots$$

Ist dann

58) $$\frac{\varkappa}{\alpha} > 1,$$

so ist der Zweig $y = \eta(x)$ der Diskriminantenkurve kein Integral der Differentialgleichung, sondern Ort von singulären Punkten der partikulären Integralkurven (für welche $\frac{\partial \Phi}{\partial x}$ und $\frac{\partial \Phi}{\partial y}$ verschwinden), deren einzelne Zweige die Kurve $y = \eta(x)$ nicht berühren.

Typus I der singulären Lösungen.

Für

59) $$\frac{\varkappa}{\alpha} < 1$$

berühren die Zweige der partikulären Integralkurven den Zweig der Diskriminantenkurve und dieser ist daher eine singuläre Lösung vom Typus I.

Dabei tritt als einfachster Fall der hervor, daß in Gleichung 56) mit $y = \eta(x)$, $z = \zeta(x)$ die Potenzreihe $\mathfrak{P}$ nicht zugleich verschwindet. Es haben dann die partikulären Integrale $\Phi = 0$ im allgemeinen längs jenes Zweiges der Diskriminantenkurve keine singulären Punkte, ihre Zweige gehen vielmehr mit ihr eine Berührung von der Ordnung $p - 1$ ein.

Dabei verschwinden längs jenes Zweiges der Diskriminantenkurve mit $\Phi = 0$ einmal die Ableitungen

60) $$\frac{\partial \Phi}{\partial z}, \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2}, \dots \frac{\partial^{p-1} \Phi}{\partial z^{p-1}}$$

und ferner die sämtlichen Unterdeterminanten der $p-1$-reihigen Matrix:

61) $$\left\| \begin{matrix} \frac{\partial \Phi}{\partial x} & \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \cdot \partial z} & \frac{\partial^3 \Phi}{\partial x \cdot \partial z^2} & \dots & \frac{\partial^{p-1} \Phi}{\partial x \cdot \partial z^{p-2}} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial y} & \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y \cdot \partial z} & \frac{\partial^3 \Phi}{\partial y \cdot \partial z^2} & \dots & \frac{\partial^{p-1} \Phi}{\partial y \cdot \partial z^{p-2}} \end{matrix} \right\|$$

welche sich für $y = \eta(x)$, $z = \zeta(x)$ auf

$$62)\qquad \left\| \begin{matrix} -\frac{\partial \eta}{\partial x} \cdot \overline{\mathfrak{P}} & -\frac{\partial \eta}{\partial x} \cdot \overline{\frac{\partial \mathfrak{P}}{\partial z}} & -\frac{\partial \eta}{\partial x} \cdot \overline{\frac{\partial^2 \mathfrak{P}}{\partial z^2}} \cdots & -\frac{\partial \eta}{\partial x} \cdot \overline{\frac{\partial^{p-2} \mathfrak{P}}{\partial z^{p-2}}} \\ \overline{\mathfrak{P}} & \overline{\frac{\partial \mathfrak{P}}{\partial z}} & \overline{\frac{\partial^2 \mathfrak{P}}{\partial z^2}} \cdots & \overline{\frac{\partial^{p-2} \mathfrak{P}}{\partial z^{p-2}}} \end{matrix} \right\|$$

reduziert.

Die erste nicht verschwindende Determinante

$$63)\qquad H_p = \begin{vmatrix} \frac{\partial \Phi}{\partial x} & \frac{\partial^p \Phi}{\partial x \cdot \partial z^{p-1}} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial y} & \frac{\partial^p \Phi}{\partial y \cdot \partial z^{p-1}} \end{vmatrix}$$

erhält dabei den Wert

$$64)\qquad \overline{H}_p = \begin{vmatrix} -\frac{\partial \eta}{\partial x} \cdot \overline{\mathfrak{P}} & -\frac{\partial \eta}{\partial x} \cdot \overline{\frac{\partial^{p-1} \mathfrak{P}}{\partial z^{p-1}}} - p! \frac{\partial \zeta}{\partial x} \cdot \overline{\mathfrak{Q}} \\ \overline{\mathfrak{P}} & \overline{\frac{\partial^{p-1} \mathfrak{P}}{\partial z^{p-1}}} \end{vmatrix} = p! \frac{\partial \zeta}{\partial x} \overline{\mathfrak{P}} \cdot \overline{\mathfrak{Q}}.$$

Der Fall der Umhüllungskurve mit einfacher Berührung ergibt sich für $p = 2$. Hier ist

$$65)\qquad \Phi(x, y, z) \equiv (y - \eta) \cdot \mathfrak{P} + (z - \zeta)^2 \cdot \mathfrak{Q} = 0,$$

wo $\mathfrak{P}$ und $\mathfrak{Q}$ für $y = \eta$, $z = \zeta$ nicht verschwinden. Es gelten daher in diesem Falle, wie bekannt, längs des Zweiges der Diskriminantenkurve die Beziehungen [1]):

$$66)\qquad \frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0, \quad H_2 = \begin{vmatrix} \frac{\partial \Phi}{\partial x} & \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \cdot \partial z} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial y} & \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y \cdot \partial z} \end{vmatrix} = 2 \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial x} \overline{\mathfrak{P}} \cdot \overline{\mathfrak{Q}} \neq 0.$$

Im Falle einer singulären Kurve mit Berührung zweiter Ordnung ist $p = 3$ und es bestehen längs $y = \eta(x)$, $z - \zeta(x)$ die Gleichungen:

$$67)\qquad \frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0 \text{ und } H_2 = \begin{vmatrix} \frac{\partial \Phi}{\partial x} & \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \cdot \partial z} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial y} & \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y \cdot \partial z} \end{vmatrix} = 0.$$

---

[1]) Vgl. Peano in den schon genannten „Applicazioni geometriche del calcolo infinitesimale", cap. VII, § 2.

Ist dagegen der Zweig $y = \eta(x)$ der Diskriminantenkurve der Ort singulärer Punkte der Kurvenschar, so verschwindet in der Entwickelung 56) längs $y = \eta(x)$, $z = \zeta(x)$ die Potenzreihe $\mathfrak{P}$ und man hat damit zugleich auch

68) $$\frac{\partial \Phi}{\partial x} = 0 \quad \text{und} \quad \frac{\partial \Phi}{\partial y} = 0,$$

wo dann die Untersuchung der höheren Differentialquotienten die singulären Vorkommnisse im einzelnen ergibt.

Typus II der singulären Lösungen.

Ist längs des Zweiges $y = \eta(x)$ der Diskriminantenkurve $z = \zeta(x)$ konstant gleich z_0, so ist $y = \eta(x)$ zugleich partikuläres Integral der Differentialgleichung und es liegt Typus II einer singulären Lösung vor.

Für die Entwickelung von Φ gilt jetzt die der Gleichung 56) analoge Gleichung

69) $$\Phi(x, y, z) \equiv (y-\eta) \cdot \mathfrak{P}(y-\eta, z-z_0) + (z-z_0)^p \cdot \mathfrak{Q}(y-\eta, z-z_0) = 0,$$

welche die der singulären Lösung $z = z_0$ benachbarten Kurven darstellt und wobei (wie oben) jedenfalls $\mathfrak{Q}$ für $y = \eta$, $z = z_0$ nicht verschwindet. Dabei verschwinden analog wie im allgemeinen Fall auch hier die Ableitungen $\frac{\partial^\kappa \Phi}{\partial z^\kappa}$ bis zur $(p-1)^{\text{ten}}$ und erweitert sich wegen $\frac{\partial \zeta}{\partial x} = 0$ die in 61) gegebene Matrix der verschwindenden Determinanten noch um eine Vertikale.

Die erste im allgemeinen nicht verschwindende Determinante ist

70) $$H_{p+1} = \begin{vmatrix} \frac{\partial \Phi}{\partial x} & \frac{\partial^{p+1} \Phi}{\partial x \cdot \partial z^p} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial y} & \frac{\partial^{p+1} \Phi}{\partial y \cdot \partial z^p} \end{vmatrix}.$$

Sie erhält längs $y = \eta(x)$, $z = z_0$ den Wert

71) $$\overline{H}_{p+1} = -p! \, \overline{\mathfrak{P}} \cdot \left(\frac{\partial \overline{\mathfrak{Q}}}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \cdot \frac{\partial \overline{\mathfrak{Q}}}{\partial y} \right).$$

Im einfachsten Falle von Typus II für $p = 2$

72) $$\Phi(x, y, z) \equiv (y-\eta) \cdot \mathfrak{P} + (z-z_0)^2 \cdot \mathfrak{Q} = 0$$

ergeben sich also längs $y = \eta$, $z = z_0$ die Bedingungsgleichungen:

$$73) \qquad \frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0 \quad H_2 = \begin{vmatrix} \frac{\partial \Phi}{\partial x} & \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \, \partial z} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial y} & \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y \, \partial z} \end{vmatrix} = 0.$$

Im allgemeinen verschwinden dabei auch hier $\frac{\partial \Phi}{\partial x}$ und $\frac{\partial \Phi}{\partial y}$ längs unserer singulären Kurve nicht. Dies tritt vielmehr wieder nur ein, wenn dort noch $\mathfrak{P}(y - \eta, z - z_0)$ verschwindet. Dabei handelt es sich aber nicht um einen Ort singulärer Punkte wie im Falle des Typus I, sondern die Lösung $y = \eta(x)$ tritt in diesem Falle nur, wie sogleich noch näher gezeigt werden soll, im gewissen Sinne mehrfach zählend als zugleich singuläre und partikuläre Lösung auf.

§ 5.

Geometrische Deutung auf der Fläche $\Phi(x, y, z) = 0$.

Die verschiedenen Fälle der singulären Lösungen von Typus I und II (wie auch das Auftreten eines Ortes singulärer Punkte im Kurvensystem) lassen sich besonders anschaulich überblicken, wenn wir in der bekannten Weise die Gleichung

$$\Phi(x, y, z) = 0$$

in einem rechtwinkligen Koordinatensystem x, y, z als Fläche über der $(x\,y)$-Ebene deuten. Die Kurvenschar (der partikulären Integrale) wird von der Projektion der Horizontalschnitte $z =$ const. dieser Fläche auf die $(x\,y)$-Ebene gebildet.

Die Diskriminantengleichung

$$54) \qquad \Delta = 0$$

bezeichnet dann „im allgemeinen“ einen Zylinder, welcher die Fläche $\Phi = 0$ längs des in der Richtung der z-Achse genommenen „Umrisses“ berührt. Die Umrißkurve auf $\Phi = 0$ wird von den Horizontalschnitten $z =$ const. in den Punkten $y = \eta(x)$, $z = \zeta(x)$ geschnitten, in der Projektion einfach oder von höherer Ordnung berührt (Typus I der singulären Lösung). Ist aber längs eines Zweiges $y = \eta(x)$ der Umrißkurve überall $z = z_0$, so bildet dieser Zweig eine zugleich partikuläre und singuläre Lösung (Typus II).

Weiter liegen auf $\varDelta = 0$ alle singulären Linien der Fläche, längs welcher zugleich die Gleichungen

74) $$\varPhi = 0, \quad \frac{\partial \varPhi}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial \varPhi}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \varPhi}{\partial z} = 0$$

erfüllt sind. Nach unseren Voraussetzungen über $\varPhi$ erscheint hier als die zunächst sich darbietende Singularität die Doppelkurve, dann die Rückkehrkurve. Solange längs eines solchen Zweiges $y = \eta(x)$ der Diskriminantenkurve, der im allgemeinen keine singuläre Lösung ist, sich $z = \zeta(x)$ nicht auf eine Konstante reduziert, besitzen die Horizontalschnitte der Fläche, also die partikulären Integrale, Doppel- bzw. Rückkehrpunkte. Dabei ist für den Vergleich des allgemeinen Integrals $\varPhi = 0$ und der Differentialgleichung $F = 0$ noch zu beachten, daß diese Doppelpunkte der partikulären Integralkurven erst bei Betrachtung des Gesamtverlaufes der einzelnen Kurven in die Erscheinung treten, also wohl aus der Diskriminante $\varDelta = 0$ von $\varPhi$, nicht aber aus der Diskriminante $D = 0$ von F erhalten werden. Dagegen bezieht sich das Auftreten von Rückkehrpunkten nicht bloß auf den Gesamtverlauf der einzelnen Integralkurven, sondern bildet eine differentielle Eigenschaft derselben, so daß die Kurve der Rückkehrpunkte sowohl aus $\varDelta = 0$ wie auch aus $D = 0$ erhalten wird[1]).

Wir betrachten in unserer räumlichen Deutung noch den vorhin erwähnten einfachsten Fall von Typus II (für $p = 2$), also die Gleichung:

72) $$\varPhi(x, y, z) \equiv (y - \eta) \cdot \mathfrak{P} + (z - z_0)^2 \cdot \mathfrak{Q},$$

wo

$$\mathfrak{P} = \mathfrak{p}_0 + \mathfrak{p}_1 (y - \eta) + \mathfrak{p}_2 (z - z_0) + \cdots$$
$$\mathfrak{Q} = \mathfrak{q}_0 + \mathfrak{q}_1 (y - \eta) + \mathfrak{q}_2 (z - z_0) + \cdots$$

und die $\mathfrak{p}$, $\mathfrak{q}$ Potenzreihen nach $(x - x_0)$ bedeuten.

[1]) Auch umgekehrt können bekanntlich Eigenschaften des durch $F = 0$ gegebenen Feldes von Richtungen, welche im Verschwinden der zugehörigen Diskriminante D ihren Ausdruck finden, verloren gehen bei Betrachtung des Verlaufes der einzelnen partikulären Integralkurven in $\varPhi = 0$. So verschwindet, wenn sich längs einer Kurve $y = \eta(x)$ getrennte Zweige der Integralkurven $\varPhi = 0$ berühren, wohl die Diskriminante D, nicht aber auch die Diskriminante $\varDelta$. Darboux ist am Schlusse seiner Abhandlung von 1873 nur auf den „allgemeinen" Fall der Beziehung der Determinanten D und $\varDelta$ zu einander eingegangen, während Cayley (insbesondere in den Arbeiten „On the theory of the singular solutions of differential equations" im Messenger of Mathem. vom Jahre 1872 und 77) und Casorati (vgl. die in Darbouxs Bulletin des sciences math. vom Jahre 1879 und 81 abgedruckten Aufsätze Casoratis aus den Jahren 1874—81) im besonderen die Bedeutung der einzelnen in verschiedener Multiplizität auftretenden Faktoren der Diskriminanten D und $\varDelta$ untersucht haben. Für die umfangreiche anschließende Literatur vergleiche man den schon genannten Aufsatz von Rothenberg. Es erscheinen bei diesen Formulierungen neben den eigentlichen Enveloppen auch die zugleich singulären und partikulären Lösungen als gemeinsame Faktoren von D und $\varDelta$, ohne daß auf sie genauer eingegangen würde. Vielmehr ist das Hauptinteresse aller dieser speziellen Untersuchungen auf die Charakterisierung der Örter singulärer Punkte (Doppelpunkte, Spitzen, Berührungspunkte getrennter Integralkurven u. s. f.) gerichtet.

Ist $\mathfrak{p}_0$ längs $y = \eta(x)$ von Null verschieden, so liegt der *allgemeine Typus II* der zugleich singulären und partikulären Lösungen vor. Ist dagegen längs $y = \eta(x)$, $z = z_0$ für alle Werte x_0 die Reihe

$$\mathfrak{p}_0 = 0, \tag{75)}$$

so bildet diese Kurve eine horizontale *Doppelkurve*, ist noch überall

$$\mathfrak{p}_2^2 - 4\,\mathfrak{p}_1\,\mathfrak{q}_0 = 0, \tag{76)}$$

eine horizontale *Rückkehrkurve* der Fläche $\Phi = 0$.

Beim allgemeinen Typus II nähert sich, in der xy-Ebene betrachtet, *ein* Zweig eines partikulären Integrals von einer Seite her der singulären Kurve, mit welcher er für $z = z_0$ zusammenfällt, um dann sich nach *derselben* Seite hin von ihm wieder loszulösen, so daß die singuläre Linie als *Grenzlage* **eines** *Zweiges* der partikulären Integrale erscheint. Im Falle der *Doppelkurve* und der *Rückkehrkurve* dagegen erscheint die singuläre Linie als *Grenzlage* **zweier** *Zweige* der partikulären Integrale. Im Falle der Doppelkurve rücken, wenn wir den Übergang auf der Fläche $\Phi = 0$ verfolgen, *zwei* (auf den beiden in der Doppelkurve sich durchsetzenden Flächenmänteln verlaufende) zusammengehörige Kurvenzweige in jenen singulären Zweig zusammen, um sich nachher wieder zu trennen. Es ist also in der xy-Ebene das Gebiet längs der singulären Linie zu *beiden* Seiten *doppelt* von den Nachbarkurven überdeckt. (Einer isolierten Doppelkurve $y = \eta(x)$, $z = z_0$ von $\Phi = 0$ entspricht natürlich eine isolierte singuläre Lösung.) Im Falle der *Rückkehrkurve* nähern sich mit änderndem Parameter z *zwei* Zweige eines partikulären Integrals von derselben Seite her der singulären Kurve, um dort mit ihr zusammenzufallen und dann imaginär zu werden. Das *Bild* in der xy-Ebene ist also in diesem letzteren Falle nicht wesentlich von dem des allgemeinen Falles verschieden. Die folgenden Figuren 13, 14 und 15 zeigen schematisch den Übergang in den drei Fällen auf der Fläche $\Phi = 0$. Die anschließenden drei Beispiele geben genauer die Übergänge für die Kurvensysteme in der xy-Ebene.

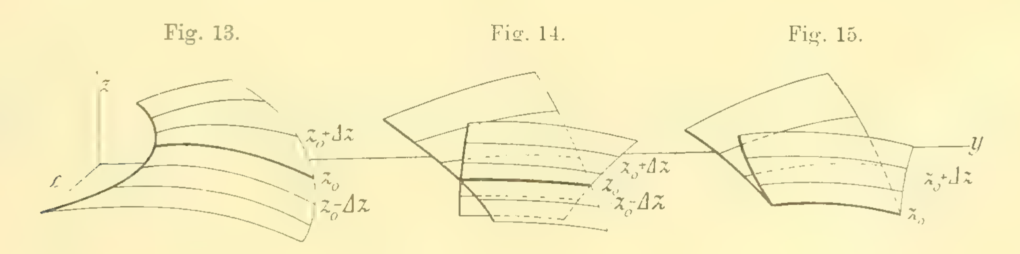


Fig. 13. Fig. 14. Fig. 15.

§ 6.

Beispiele.

1. Beispiel für den allgemeinen Typus II.

Im Anschluß an die in § 3 gegebene Reihenentwickelung für die Differentialgleichung $F = 0$ ergeben sich unmittelbar Beispiele für den Typus II, für welche die zugehörige Differentialgleichung möglichst einfach gestaltet ist — so die dort besprochenen Gleichungen 47), 49) und 51). Für die einfachsten Fälle der Gleichung $\Phi = 0$, welche diesen Typus darstellen, greifen wir auf die Gleichung 72) zurück:

72) $$\Phi(x, y, z) \equiv (y - \eta) \cdot \mathfrak{P} + (z - z_0)^2 \cdot \mathfrak{Q} = 0.$$

Wir setzen zunächst $\eta(x) \equiv 0$, so daß also die x-Achse zugleich singuläre und partikuläre Lösung wird. Ferner setzen wir $z_0 = 0$. Wählen wir nun weiter die Funktionen $\mathfrak{P}$ und $\mathfrak{Q}$ auf die einfachste Weise so, daß sie für $y = 0$, $z = z_0 = 0$ nicht verschwinden, also etwa

77) $$\mathfrak{P} = mx + nz, \qquad \mathfrak{Q} = 1\,[1]),$$

so ergibt sich als einfachstes Beispiel für eine Kurvenschar, welche den allgemeinen Typus II darstellt, die Gleichung

78) $$\Phi \equiv y \cdot (mx + nz) + z^2 = 0.$$

Die zugehörige Differentialgleichung lautet:

79) $$F \equiv mx^2 \cdot y'^2 + y(2mx - n^2 y) \cdot y' + my^2 = 0.$$

Die Diskriminanten sind (wir sehen hier wie in den folgenden Beispielen von Zahlenfaktoren ab):

80) $$\Delta = y \cdot (4mx - n^2 y)$$

und

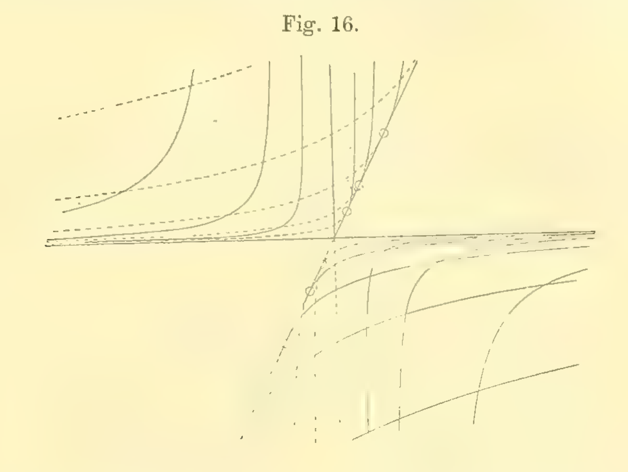
$$D = y^3 \cdot (4mx - n^2 y).$$

Die Fläche $\Phi = 0$ ist ein Kegel zweiten Grades, dessen Horizontalschnitte die Integralkurven bilden. Die Umrißlinie $4mx - n^2 y = 0$ ist singuläre Lösung

[1]) Für die umgekehrte Wahl $\mathfrak{P} = 1$, $\mathfrak{Q} = mx + nz$, die auf eine Clairautsche Gleichung führt, vgl. § 8, Formel 104.

vom Typus I (Enveloppe), dagegen die Umrißlinie $y = 0$ (für $z = 0$) zugleich singuläre und partikuläre Lösung vom allgemeinen Typus II. (Vgl. Fig. 16.)

Fig. 16.



Man erkennt an diesem Beispiel am einfachsten, daß es nicht richtig ist, von einer solchen allgemeinen zugleich singulären und partikulären Lösung als von einem „mehrfach zählenden“ partikulären Integral zu sprechen. Die Achse $y = 0$ erscheint als Grenzlage der Integralkurven, zählt aber jedenfalls nur einfach in der Kurvenschar (der Schnitt $z = 0$ des Kegels ist das Geradenpaar $x \cdot y = 0$). Davon ist aber zu unterscheiden, daß in $y = 0$ jedesmal zwei durch die Differentialgleichung gegebene Richtungen zusammenfallen.

Die Reihenentwickelung für die Differentialgleichung in der Umgebung eines Punktes $y = 0$, $x = x_0$ der singulären Linie ergibt sich in der Form

$$\text{81)} \qquad \frac{dy}{dx} = \left[-\frac{1}{x_0} + \frac{x - x_0}{x_0^2} + \cdots \right] y + \left[\frac{n}{\sqrt{m}} \cdot \frac{1}{(-x_0)^{\frac{3}{2}}} + \cdots \right] y^{\frac{3}{2}} + \cdots$$

entsprechend der in Gleichung 18) allgemein aufgestellten Formel.

2. Beispiel für den Typus II mit horizontaler Doppelkurve auf $\Phi = 0$.

Hier ist für $y = \eta(x) = 0$, $z = z_0 = 0$ die Gleichung 74) $p_0 = 0$ zu erfüllen. Wir wählen

$$\text{82)} \qquad \mathfrak{P} = my + nx \cdot z, \quad \mathfrak{Q} = 1$$

und erhalten die Gleichung:

$$\Phi = y \cdot (my + nx \cdot z) + z^2 = 0,$$

und als zugehörige Differentialgleichung

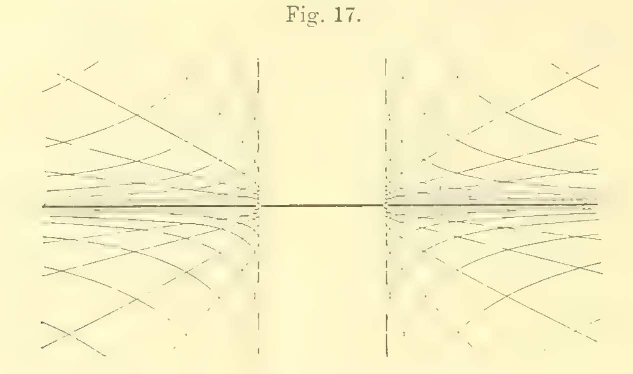
84) $$(n^2 x^2 - 4m)\, y'^2 - n^2 y^2 = 0.$$

Ferner ist (bis auf Zahlenfaktoren)

85) $$\Delta = D = y^2 \cdot (n^2 x^2 - 4m).$$

Fig. 17 stellt das den Gleichungen entsprechende Hyperbelsystem dar. Die Achse $y = 0$ ist doppelt zählend singuläre Lösung und zugleich partikuläres Integral.

Fig. 17.



Für die der Gleichung 18) entsprechende Reihenentwickelung von y' ergibt sich hier einfach:

86) $$y' = \frac{n}{\sqrt{n^2 x^2 - 4m}} \cdot y = g_1 \cdot y,$$

wobei sich g_1, den beiden Blättern y' entsprechend an jeder Stelle $x = x_0$ (ausgenommen bei $x = \pm \frac{2}{n} \sqrt{m}$) nach ganzen positiven Potenzen von $x - x_0$ entwickeln läßt.

Diesem Falle einer doppelt zählenden singulären Lösung entspricht auch das kompliziertere Beispiel 5 in der Hamburgerschen Abhandlung (S. 246).

3. Beispiel für den Typus II mit horizontaler Rückkehrkurve auf $\Phi = 0$.

Hier sind längs $y = \eta(x) = 0$, $z = z_0 = 0$ die Gleichungen 75) $\mathfrak{p}_0 = 0$ und 76) $\mathfrak{p}_2^2 - 4\,\mathfrak{p}_1\,\mathfrak{q}_0 = 0$ zu erfüllen. Wir setzen:

87) $$\mathfrak{P} = x^2 \cdot y - 2x \cdot z - y^2; \quad \mathfrak{Q} = 1$$

und erhalten die Gleichung:

88) $$\Phi \equiv (z - xy)^2 - y^3 = 0.$$

Sie entspricht der Differentialgleichung

$$\text{89)} \qquad \left(\frac{9}{4}\,y - x^2\right) y'^2 - 2\,x\,y' - y^2 = 0$$

und es ist

$$\text{90)} \qquad \varDelta = D = y^3.$$

Fig. 18 gibt das der Gleichung entsprechende System von Kurven vierter Ordnung. Das für $z = 0$ sich einstellende partikuläre Integral

$$\text{91)} \qquad y^2 \cdot (x^2 - y) = 0$$

zerfällt in die doppelt zählende[1]) Gerade $y = 0$, die zugleich singuläre Lösung vom Typus II ist, und in die Parabel $x^2 - y = 0$. Der Übergang zu dieser Grenzlage sei noch durch Fig. 19 näher erläutert, welche drei benachbarte Kurven, für $z = \varDelta C$, $z = 0$ und $z = -\varDelta C$ darstellt. Man vergleiche damit den Grenzübergang in dem in § 10 gegebenen Beispiel Figur 30 und 31 (Seite 48, 49).

Fig. 18.

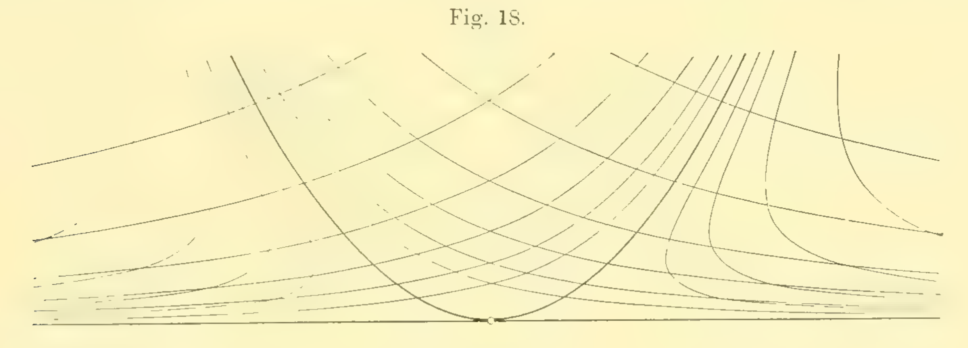
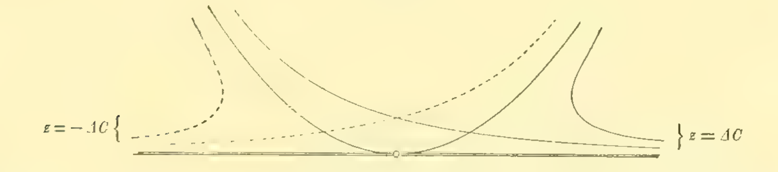


Fig. 19.



[1]) Es sei hierbei erwähnt, daß das Zusammenfallen mehrerer Zweige einer Integralkurve zu einem einzigen — wie es in den eben betrachteten Fällen des Auftretens von horizontalen Doppel- bzw. Rückkehrkurven der Fläche $\Phi = 0$ auftritt — keineswegs notwendig einer zugleich singulären und partikulären Lösung, wie dort, entspricht. Es kann sich auch lediglich um eine mehrfach zählende partikuläre Integralkurve handeln. So ist für die Differentialgleichung

$$y'^2 - xy = 0$$

mit dem Integral

$$z^2 - 2\,z \cdot \left(y + \frac{1}{9}\,x^3\right) + \left(y - \frac{1}{9}\,x^3\right)^2 = 0$$

§ 7.

Anschliessende Bemerkungen.

1. In der räumlichen Darstellung der Gleichung $\Phi(x, y, z) = 0$ lassen sich nun auch am besten jene besonderen Beispiele zugleich partikulärer und singulärer Lösungen kennzeichnen, bei welchen eine partikuläre Integralkurve von einer Gruppe von Zweigen anderer partikulärer Integralkurven berührt wird: Die Projektion eines Zweiges $y = \eta(x)$, $z = \zeta(x)$ der Umrißkurve der Fläche $\Phi = 0$ auf die xy-Ebene fällt zusammen mit der Projektion eines Horizontalschnittes $z = C_0$.

Damit ist auch unmittelbar ersichtlich, daß jene Kurve $y = \eta(x)$ für das Gebiet der Horizontalschnitte längs der Umrißkurve $y = \eta(x)$, $z = \zeta(x)$ als singuläre Lösung, dagegen für das Gebiet $y = \eta(x)$, $z = z_0$ längs des einen Horizontalschnittes als partikuläres Integral anzusehen ist. Die Bemerkung in der Scheffersschen Bearbeitung des Serretschen Lehrbuches[1]), wonach eine solche Lösung nur als singuläre Lösung (Grenzlage), nicht auch als partikuläres Integral bezeichnet werden dürfe, läßt sich nicht aufrechterhalten. Wir setzen das Cauchysche Beispiel der Parabelschar

92) $$y = z \cdot (x - z^2)$$

hierher, die der Differentialgleichung

93) $$y'^3 - 4xyy' + 8y^2 = 0$$

entspricht. (Fig. 21). Die von den Parabeln einfach bzw. dreifach bedeckten Gebiete sind dann, wenn wir jedesmal den Zusammenhang der einzelnen Blätter

die Kurve

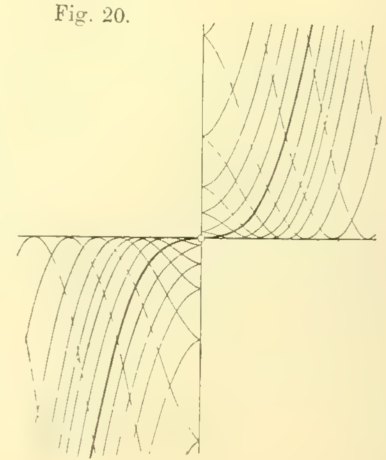
$$(y - \frac{1}{9}x^3) = 0,$$

die sich für $z = 0$ ergibt, in dem System der Kurven 6ter Ordnung, welches die Gesamtheit darstellt, eine doppelt zu zählende partikuläre Integralkurve. Es fallen in ihr, wie Fig. 20 zeigt, je zwei Zweige der Nachbarkurven (für $z = +\Delta C$ oberhalb, für $z = -\Delta C$ unterhalb der x-Achse) zusammen. Dagegen ergibt sich für die Diskriminanten lediglich:

$$D = x \cdot y,$$
$$\Delta = x^3 \cdot y.$$

Die x-Achse ist singuläre Lösung (Enveloppe), während die y-Achse einen Ort von Rückkehrpunkten darstellt.

Fig. 20.



1) Band III § 712.

längs der beiden Umrißkurven $y = 0$ und $y = \frac{4}{27} x^3$ beachten, in der aus Figur 22 a, b, c, d unmittelbar ersichtlichen Reihenfolge aneinanderzuschließen.

Fig. 21.

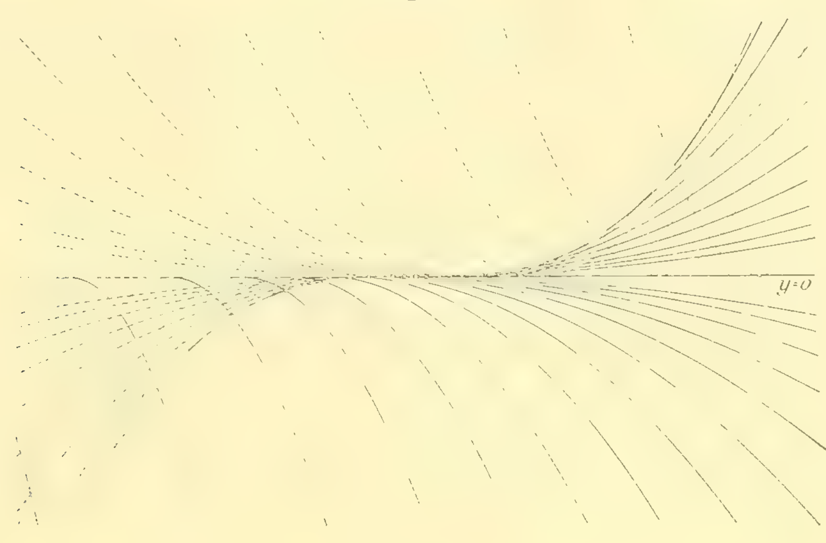
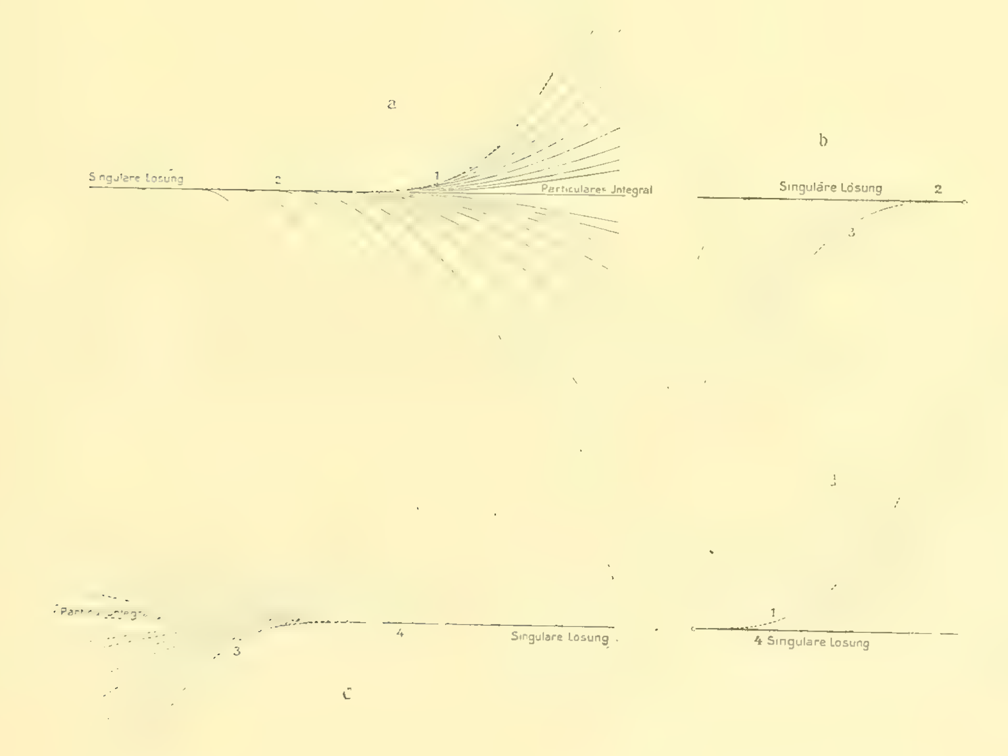


Fig. 22.



Für die in a) dargestellten Zweige der Integralkurven ist dann $y = 0$, $x > 0$ partikuläres Integral, $y = 0$, $x < 0$ dagegen singuläre Lösung, umgekehrt für das Blatt c.

Wir fügen als ein unmittelbar hier anschließendes Beispiel noch das Kurvensystem

94) $$y^3 = z \cdot (x - z)^2$$

hier an, welches der Differentialgleichung

95) $$27\, y\, y'^3 - 12\, x\, y' - 8\, y = 0$$

entspricht. Hier ist die Gerade $y = 0$ keine singuläre Lösung, sondern Spitzenort und zugleich partikuläres Integral. Der Übergang der einzelnen Zweige der Integralkurve längs $y = 0$ und längs der Einhüllenden $y - \frac{1}{3}\sqrt[3]{4} \cdot x = 0$ ist im übrigen derselbe wie im vorigen Beispiel. (Vgl. Fig. 23.)

Fig. 23.

2. Noch folgende Bemerkung sei hier eingeschaltet: Die Integralfläche $\Phi = 0$ läßt sich durch Einführung von anderen Integrationskonstanten t an Stelle von z noch auf die mannigfaltigste Weise umgestalten. Wenn dann die Konstante z in der Gleichung $\Phi(x, y, z) = 0$ nur in der Verbindung

96) $$t = \varphi(z)$$

auftritt, es sich also um ein Kurvensystem

97) $$\Phi(x, y, z) = \Psi(x, y, t) = \Psi(x, y, \varphi(z)) = 0$$

handelt, so wird hier die Bedingung

98) $$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = \frac{\partial \Psi}{\partial t} \cdot \frac{d t}{d z} = 0$$

erfüllt einmal für $\frac{\partial \Psi}{\partial t} = 0$, dann für $\frac{d t}{d z} = 0$.

Die letztere Bedingung liefert aber offenbar keine singulären Kurven. Sie besagt nur, daß das Kurvensystem $\Phi = 0$ mit änderndem z in einzelnen Abschnitten mehrfach durchlaufen wird und also die Fläche $\Phi(x, y, z) = 0$ abschnittweise aus den gleichen Horizontalschnitten aufgebaut ist, wie $\Psi(x, y, t) = 0$, wobei dann die einzelnen Abschnitte längs Umrißkurven in einander übergehen, die für das ganze Kurvensystem lediglich die Rolle von partikulären Integralkurven spielen. Auch Doppelkurven, Rückkehrkurven u. s. w. können dann in einer solchen Fläche $\Phi = 0$ auftreten, die doch für die Schar der Integralkurven als unwesentliche (hebbare) singuläre Linien zu gelten haben. So beachte man, um nur das einfachste Beispiel anzuführen, daß die Schar der konzentrischen Kreise

$$x^2 + y^2 - t = 0$$

auf jeder beliebigen Rotationsfläche um die z Achse

$$x^2 + y^2 - \varphi(z) = 0$$

sich anordnen läßt, bei welcher je nach der Wahl des Meridians beliebige der Kreise als Umrißkurven, mehrfachzählende Kurven u. s. w. auftreten können.

§ 8.

Die Clairautsche Gleichung.

Legen wir die Clairautsche Gleichung in der Form

$$99)\qquad y - xy' + f(y') = 0$$

zu Grunde, so ist das allgemeine Integral durch die Geradenschar

$$100)\qquad y - xz + f(z) = 0$$

gegeben. Die Kurve

$$101)\qquad \begin{cases} x = f'(z) \\ y = z \cdot f'(z) - f(z) \end{cases}$$

ist die Umhüllungskurve der Geradenschar, also singuläre Lösung vom Typus I. Man hebt sie in der Regel als die einzige singuläre Lösung hervor[1]) und ich habe in der Literatur nirgends eine Bemerkung über das Auftreten anderer singulärer Lösungen der Clairautschen Gleichung finden können. Sie sind wohl deshalb unbeachtet geblieben, weil man außer Acht ließ, daß

[1]) So z. B. in Serrets Lehrbuch, 3. Aufl., Band 3, Nr. 720.

die in der Form 97) vorliegende Gleichung nach $y - xy'$ aufgelöst ist, $f(y')$ also im allgemeinen keineswegs vom Charakter einer rationalen ganzen Funktion in y' angenommen werden darf, auch wenn man die allgemeinere Form

102) $$F(y - xy', y') = 0$$

der Gleichung als ganze Funktion in $y - xy'$ und y' voraussetzt.

Es gilt aber der Satz:

Jede Wendetangente der Umhüllungskurve 99) — wenn wir von höheren Klassensingularitäten absehen — stellt eine zugleich singuläre und partikuläre Lösung der Clairautschen Gleichung dar.

Die Bedingung für das Auftreten eines Wendepunktes in der Umhüllungskurve ist $f''(z) = \infty$. Legen wir den Wendepunkt nach $x = 0$, $y = 0$ und machen die Gerade $y = 0$ zur Wendetangente. so läßt sich für die Umgebung dieser Wendetangente die Funktion $f(y')$ in eine nach positiven Potenzen von $y'^{\frac{1}{2}}$ fortschreitende Reihe entwickeln, deren erstes Glied $a \cdot y'^{\frac{3}{2}}$ ist. In erster Annäherung wird also das Verhalten der Integralkurven in der Umgebung der Wendetangente bezeichnet durch die Differentialgleichung

103) $$y - xy' + ay'^{\frac{3}{2}} = 0$$

oder, in rationaler Form geschrieben, durch

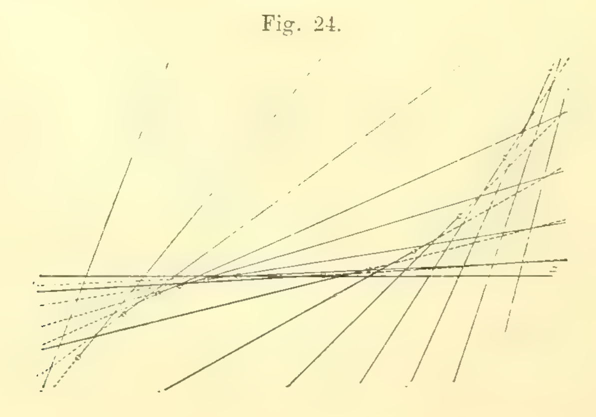
$$(y - xy')^2 - a^2 y'^3 = 0.$$

Die Umhüllungskurve

104) $$y - \frac{4}{27} \frac{1}{a^2} x^3 = 0$$

und die zugleich singuläre und partikuläre Lösung $y = 0$ teilen die Ebene (vgl. Fig. 24) in vier Gebiete, die dreifach, bzw. einfach von den Geraden der Schar bedeckt werden.

Fig. 24.



Setzen wir für das Integral $y' = z$ und schreiben dasselbe analog der Gleichung 72 — wobei $\eta(x) = 0$ und $z_0 = 0$ ist — so kommt:

$$105)\qquad \Phi(x, y, z) \equiv y(y - 2x \cdot z) + z^2 \cdot (x^2 - a^2 \cdot z) = 0,$$

wo $\mathfrak{Q} = x^2 - a^2 \cdot z$ längs der singulären Geraden $y = 0$, $z = 0$ nicht verschwindet.

Man bemerkt, daß bei der vorliegenden Einführung der Integrationskonstanten z die Fläche $\Phi(x, y, z) = 0$ in der singulären Geraden eine horizontale Rückkehrkante besitzt, also scheinbar eine Singularität höherer Art in dieser zugleich singulären und partikulären Lösung vorliegt. Indes ist diese Rückkehrkante eine „hebbare" Unstetigkeit für unser Integralsystem im Sinne der Bemerkung 2 des vorigen Paragraphen (vgl. S. 39). In der Tat, ersetzt man die Integrationskonstante z durch eine neue t, für welche

$$z = t^2,$$

so ergibt sich das Integral in der einfacheren Form

$$106)\qquad \Psi(x, y, t) \equiv y - t^2 \cdot (x + at) = 0,$$

welche zeigt, daß in der singulären Geraden $y = 0$, $t = 0$ der einfachste Fall des Typus II einer zugleich singulären und partikulären Lösung vorliegt.[1])

Übersichtlicher wird die geometrische Darstellung noch, wenn wir den Wendepunkt der Umhüllungskurve ins Unendliche legen. Es kommt dann die untenstehende Fig. 25, welche die Integrale der Differentialgleichung

$$107)\qquad y - xy' - ay'^{\frac{3}{2}} = 0$$

mit

$$x^2 y - \frac{4}{27} a^3 = 0$$

als Umhüllungskurve und $y = 0$ als zugleich singulärer und partikulärer Lösung darstellt.

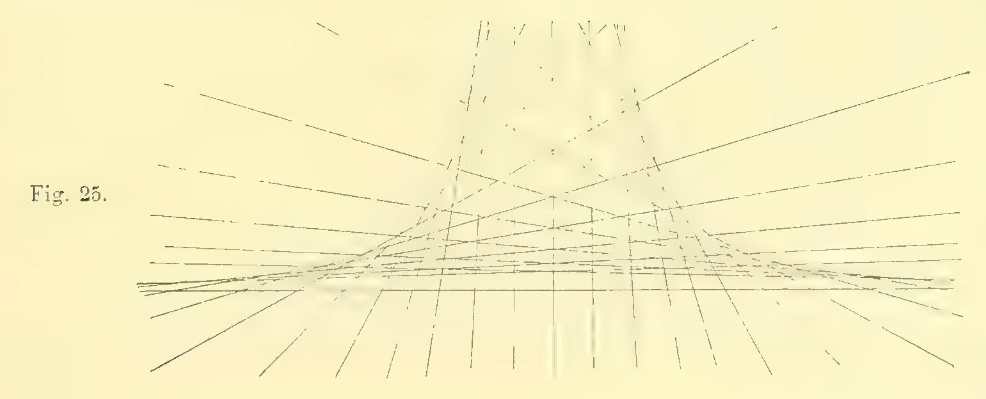


Fig. 25.

[1]) Vgl. oben § 6, S. 32 Anmerkung.

§ 9.

Die Krümmungskreise einer ebenen Kurve.

Es gilt der Satz:

In der Gesamtheit der Krümmungskreise einer ebenen Kurve bilden die vierpunktig berührenden Krümmungskreise zugleich singuläre und partikuläre Lösungen vom allgemeinen Typus II.

Es sei

$$108) \qquad Y = f(X)$$

die Gleichung der gegebenen Kurve, ferner bezeichne x, y die Koordinaten eines Punktes auf einem beliebigen Krümmungskreis. Führen wir dann die X-Koordinate des Berührungspunktes von Kurve und Krümmungskreis als Parameter $X = z$ ein, so ist

$$109) \qquad \Phi(x, y, z) \equiv$$

$$= [f''(z) \cdot (x - z) + (1 + f'^2(z)) \cdot f'(z)]^2 +$$

$$+ [f''(z) \cdot (y - f(z)) - (1 + f'^2(z))]^2 - [1 + f'^2(z)]^3 = 0$$

die Gleichung für das System der Krümmungskreise. Ist $X_0 = z_0$, $Y_0 = f(z_0)$ ein Punkt mit vierpunktig berührenden Krümmungskreise, so ist bekanntlich (für $z = z_0$)

$$110) \qquad 3\overline{f'} \cdot \overline{f''^2} - (1 + \overline{f'^2}) \cdot \overline{f'''} = 0.$$

Entwickeln wir nun für die Umgebung eines beliebigen auf diesem vierpunktig berührenden Kreis gelegenen Punktes x_0, y_0, z_0 die Fläche $\Phi(x,y,z) = 0$, so ergeben sich zufolge der Bedingung 110) sofort die Beziehungen

$$\overline{f''} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial z} = 2\overline{f'''} \cdot \Phi$$

$$111) \qquad \overline{f''} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \cdot \partial z} = 2\overline{f'''} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial x}$$

$$\overline{f''} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y \cdot \partial z} = 2\overline{f'''} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial y}$$

so daß also längs des vierpunktig berührenden Krümmungskreises $z = z_0$ die Gleichungen

$$112) \qquad \Phi = 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0 \quad \text{und} \quad \begin{vmatrix} \frac{\partial \Phi}{\partial x} & \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial z} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial y} & \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y \partial z} \end{vmatrix} = 0$$

gelten, in Übereinstimmung mit den in Gleichung (73) gegebenen Bedingungen. Da keine weiteren Ableitungen von Φ nach z und keine weiteren Determinanten der Matrix 61 verschwinden, ergibt sich der Kreis als zugleich singuläre und partikuläre Lösung vom allgemeinen Typus II.

Wir legen, um noch für $\Phi(x, y, z)$ die Reihenentwickelung in einfachster Form aufzustellen, für die gegebene Kurve die Gleichung:

$$113) \qquad Y = f(X) = \frac{1}{2} a_2 X^2 + \frac{1}{24} a_4 X^4 + \dots$$

zu Grunde (wo die vierpunktige Berührung in $X_0 = 0$, $Y_0 = 0$ statthat und die Bedingung 110) sich auf $a_3 = 0$ reduziert). Dann ist

$$x^2 + y^2 - \frac{2}{a_2} y = 0$$

der vierpunktig berührende Krümmungskreis, oder ein Zweig desselben

$$114) \qquad y - \eta(x) = y - \frac{1 \pm \sqrt{1 - a_2^2 x^2}}{a_2} = 0.$$

Dann wird längs $y - \eta(x) = 0$ der Parameter $z_0 = 0$ und man findet, in Übereinstimmung mit Formel 72:

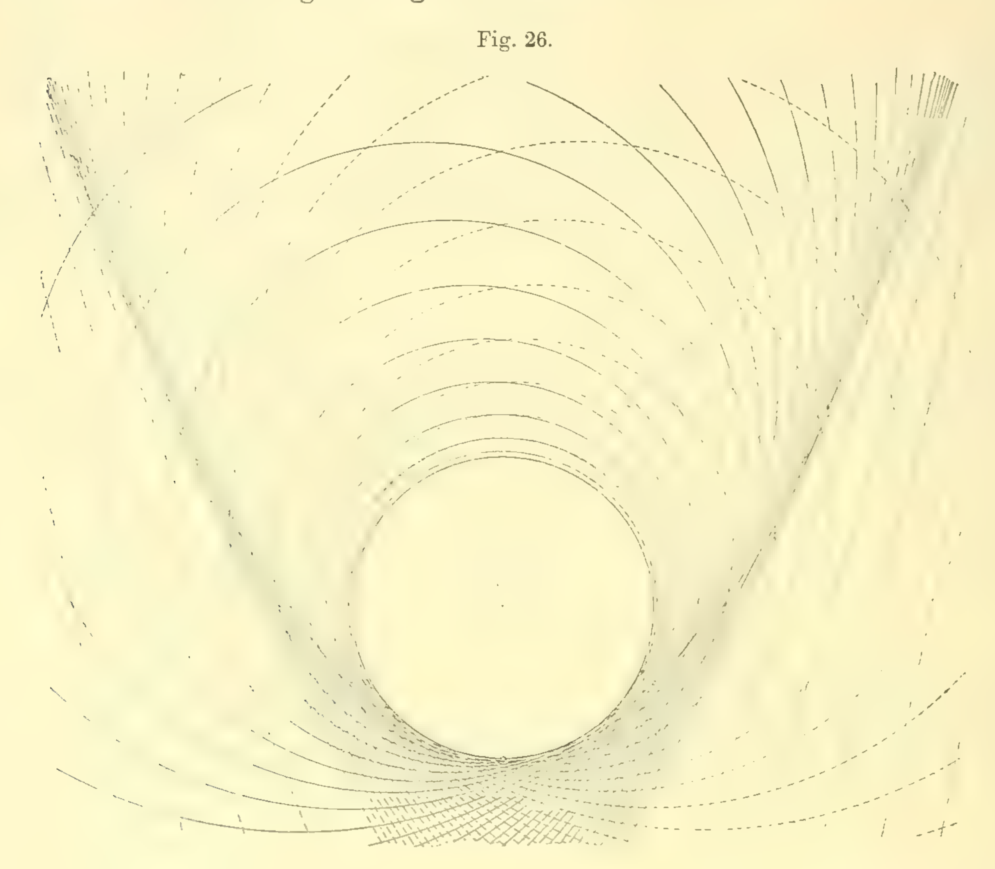
$$115) \qquad \begin{aligned} \Phi(x, y, z) \equiv (y - \eta(x)) \cdot [\pm 2\, a_2 \sqrt{1 - a_2^2 x^2} + a_2^2 \cdot (y - \eta(x))] \\ + z^2 \cdot \mathfrak{Q}(y - \eta, z) \end{aligned}$$

wo $\mathfrak{P}$ und $\mathfrak{Q}$ für $y = \eta(x)$, $z = 0$ nicht verschwinden.

Figur 26 gibt die Darstellung der Krümmungskreise für die Parabel $Y^2 = \frac{1}{2} a_2 X^2$, welche von höheren Singularitäten abgesehen, auch den allgemeinen Fall für die Umgebung des Scheitels einer beliebigen Kurve kennzeichnet. Man ersieht aus der Figur, wie aus einfacher Rechnung, daß der ausgezeichnete Krümmungskreis die benachbarten Krümmungskreise in zwei in erster Annäherung symmetrisch liegende Reihen von Kreisen K' und K'' trennt, deren eine auf der einen Seite des Scheitelpunktes, deren andere auf der anderen Seite die Kurve oskulieren. Jeder Kreis K' wird von einer Teilreihe von Kreisen K'' geschnitten, die zwischen zwei den Kreis K' berührenden Kreisen liegen und umgekehrt. So entsteht längs des Gebietes des ausgezeichneten Krümmungskreises die doppelte Überdeckung der Ebene durch

Kreise der beiden Reihen (und zwar außerhalb bzw. innerhalb jenes Grenzkreises, je nachdem dieser ein kleinster bzw. größter Krümmungskreis ist). Der Grenzkreis selbst trägt keinen singulären Punkt, weil er von keinem benachbarten Krümmungskreis geschnitten wird.

Fig. 26.



An diesem Beispiel tritt besonders anschaulich ein Unterschied hervor, welcher das Zustandekommen der singulären Lösung als einer Grenzkurve jeweils im allgemeinen Falle des Typus I bzw. des Typus II einer singulären Lösung kennzeichnet.

Bei Typus I werden die beiden längs der singulären Kurve aneinanderstoßenden Blätter von den Integralkurven derart überdeckt, daß jede Integralkurve an der Berührungsstelle mit der singulären Kurve von dem einen Blatt in das andere übertritt. Es schneiden sich also in kontinuierlicher Aufeinanderfolge je zwei verschiedene Zweige der einzelnen Integralkurven.

Bei Typus II trennt die singuläre Lösung die Integralkurven in zwei Gruppen, deren eine das eine, deren andere das andere Blatt bedeckt. Der

kontinuierliche Übergang von der einen Gruppe zur anderen findet nur statt durch die singuläre Kurve selbst als partikulärem Integral. Zwischen einer Integralkurve des einen Blattes und einer sie schneidenden des anderen Blattes liegen stets unendlich viele Integralkurven, welche die erstere gar nicht schneiden (wie im vorliegenden Beispiel) oder nur in einzelnen, allen diesen Integralkurven gemeinsamen, singulären Punkten auf der singulären Kurve.

Die einfachsten Typen der auf der singulären Kurve möglichen singulären Stellen seien noch hier anschließend besprochen.

§ 10.

Singuläre Stellen.

In den schon Eingangs erwähnten beiden Aufsätzen[1]) habe ich die „im allgemeinen" auftretenden singulären Stellen einer Differentialgleichung $F(x, y, y') = 0$ gestaltlich auf Grund der Briot-Bouquetschen Reihenentwickelung untersucht. Sie liegen auf der Diskriminantenkurve $D = 0$, die hier als Spitzenort der Integralkurven erscheint. Man kann sich nun fragen, welcher Art jene singulären Stellen werden, wenn sie im besonderen auf einem Zweig von $D = 0$ auftreten, welcher eine singuläre Lösung der Differentialgleichung bildet.

Wir betrachten die einfachsten Fälle: Der Zweig der Diskriminantenkurve sei $y = 0$ selbst, eine Vereinfachung, die innerhalb unseres Gebietes einer eindeutigen Transformation gleichkommt.

Für Typus I der singulären Lösung sei $\alpha = 2$, $\varkappa = 1$ also die Reihenentwickelung 17):

17a) $$\frac{dy}{dx} = g_{\frac{1}{2}} y^{\frac{1}{2}} + g_1 y + g_{\frac{3}{2}} y^{\frac{3}{2}} + \cdots$$

zu Grunde gelegt; für Typus II sei $\alpha = 2$, $\varkappa = 2$, gelte also die Reihenentwickelung 18)

18a) $$\frac{dy}{dx} = g_1 y + g_{\frac{3}{2}} y^{\frac{3}{2}} + \cdots,$$

[1]) „Über die gestaltlichen Verhältnisse der durch eine Differentialgleichung erster Ordnung zwischen zwei Variabeln definierten Kurvensysteme"; Sitzungsberichte der Münchener Akademie der Wissenschaften von 1891 und 1892.

oder, indem wir

$$y = u^2 \tag{116}$$

setzen:

$$\frac{du}{dx} = \tfrac{1}{2}\, g_{\frac{1}{2}} + \tfrac{1}{2}\, g_1\, u + \tfrac{1}{2}\, g_{\frac{3}{2}}\, u^2 + \ldots \quad \text{für Typus I,} \tag{117}$$

beziehungsweise

$$\frac{du}{dx} = \qquad \tfrac{1}{2}\, g_1\, u + \tfrac{1}{2}\, g_{\frac{3}{2}}\, u^2 + \ldots \quad \text{für Typus II.} \tag{118}$$

Bei der quadratischen Abbildung 116) gehen nun die wesentlich singulären Stellen des Integralsystems der $x\,y$ Ebene in solche der $x\,u$ Ebene über. Für diese hört dann die Giltigkeit der Entwickelungen 117) bzw. 118) auf. Sei $x = 0$, $u = 0$ eine solche singuläre Stelle, so nehmen wir an, daß an dieser Stelle eine Entwickelung von der Form

$$\frac{du}{dx} = \frac{P(x, u)}{Q(x, u)} \tag{119}$$

gilt, in welcher P und Q konvergente Potenzreihen bezeichnen, die für $x = 0$, $u = 0$ den Wert Null annehmen. Setzen wir im einfachsten Fall

$$\frac{du}{dx} = \frac{a_2 x + b_2 u}{a_1 x + b_1 u}. \tag{120}$$

Es handelt sich dann um die bekannten drei Formen singulärer Punkte, die nach dem Charakter der Wurzeln λ der Determinante

$$\begin{vmatrix} a_1 - \lambda & a_2 \\ b_1 & b_2 - \lambda \end{vmatrix} = 0 \tag{121}$$

als Spiralpunkte, Sattelpunkte und Knotenpunkte zu unterscheiden sind. Führen wir in 120) die Transformation $x = x$, $u = y^{\frac{1}{2}}$ aus und entwickeln für die Umgebung einer allgemeinen Stelle $x = x_0$ $(x_0 \neq 0)$, $y = 0$ auf der singulären Geraden y' nach Potenzen von y, so folgt:

$$y' = \frac{2a_2}{a_1}\, y^{\frac{1}{2}} + \frac{2(a_1 b_2 - a_2 b_1)}{a_1^2} \left[\frac{1}{x}\right] y - \frac{2(a_1 b_2 - a_2 b_1)\cdot b_1}{a_1^3} \left[\frac{1}{x^2}\right] y^{\frac{3}{2}} + \ldots \tag{122}$$

wobei die Koeffizienten an jeder Stelle $x_0 \neq 0$ als Potenzreihen von $(x - x_0)$ darstellbar sind.

Im „allgemeinen“ ist hiedurch die Gerade $y = 0$ als singuläre Lösung vom Typus I charakterisiert (Gleichung 17a), während für $a_2 = 0$ (Gleichung 18a) eine singuläre Lösung vom Typus II vorliegt.

Um im ersteren Falle das Verhalten der Integralkurven für die Umgebung des singulären Punktes $x = 0$ zu charakterisieren, kann man an die analoge quadratische Transformation der in der Ebene (x, u) liegenden singulären Punkte anknüpfen, die ich in der obengenannten Abhandlung[1]) ausgeführt habe. Dort handelte es sich darum, die Gleichung 120) durch $x = x$, $a_1 x + b_1 u = y^{\frac{1}{2}}$ zu transformieren, wo also längs $a_1 x + b_1 u = 0$ $\frac{du}{dx} = \infty$ ist. Dadurch ergeben sich, entsprechend den Durchschnittsstellen der Integralkurven mit dieser Geraden $a_1 x + b_1 u = 0$, in der Abbildung Spitzen längs $y = 0$.

Im vorliegenden Falle der Abbildung $x = x$, $u = y^{\frac{1}{2}}$ tritt dies ein für $a_1 = 0$, wo dann die an Stelle von 122) tretende Gleichung

$$123) \qquad y' = \frac{2a_2}{b_1} x + \frac{2b_2}{b_1} y^{\frac{1}{2}}$$

die singuläre Gerade $y = 0$ als Spitzenort charakterisiert. Hier gelten also die in jener Abhandlung hergeleiteten Figuren (Tafel I—III) für den Verlauf der Integralkurven in der Umgebung der singulären Stelle. Für kleine Werte von a_1 ändern sich diese Figuren dahin ab, daß an Stelle der Spitzen auf $y = 0$ Berührungen der Integralkurven mit der singulären Linie treten, ohne daß der Gesamtverlauf des Kurvensystems im übrigen eine wesentliche Veränderung erfährt. Wir verzichten daher hier auf eine graphische Darstellung.

Dagegen sei noch der Verlauf des Integralsystems für den Fall $a_2 = 0$ dargestellt, in welchem die singuläre Linie $y = 0$ eine zugleich singuläre und partikuläre Lösung (vom Typus II) darstellt.

Der Fall ist dadurch gekennzeichnet, daß in der Ebene $(x\,u)$ die eine der beiden durch den singulären Punkt hindurchgehenden Geraden mit $u = 0$ selbst zusammenfällt. Dadurch scheidet der „Spiralpunkt“, in welchem jene beiden Geraden imaginär sind, aus. Die Differentialgleichung

$$124) \qquad \frac{du}{dx} = \frac{b_2 u}{a_1 x + b_1 u}$$

---

[1]) Sitzungsberichte der Münchener Akademie vom Jahre 1891, S. 35. In jenen Tafeln I—III ist der Spitzenort durch eine Parabel gebildet, was hier durch die Annahme $\eta(x) = 0$ vermieden ist.

hat als Integral

$$u^{a_1} \cdot ((b_2 - a_1)\, x - b_1 u)^{-b_2} = z. \tag{125}$$

Der singuläre Punkt ist ein Sattelpunkt, wenn a_1 und b_2 gleiches Vorzeichen haben; dagegen ein Knotenpunkt für ungleiche Vorzeichen. Vergleiche die nebenstehenden Figuren 27, 28 und 29.

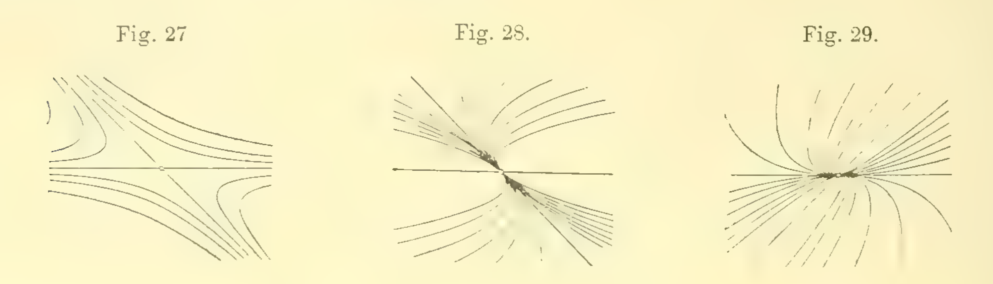


Fig. 27 Fig. 28. Fig. 29.

Für die Transformation $u = y^{\frac{1}{2}}$ tritt dann in letzterem Falle noch der Unterschied $a_1 \gtrless b_2$ hervor, für welchen einerseits die Achse $u = 0$, andererseits die Gerade $(b_2 - a_1)\, x - b_1 u = 0$ die gemeinsame Tangente der Kurven des Integralsystems bildet. So entstehen durch die quadratische Transformation aus den obigen drei Figuren die drei Formen solcher singulärer Punkte, welche die Figuren 30, 32 und 33 kennzeichnen.

Es sind speziell die Beispiele

$a_1 = 1, \quad b_1 = 2, \quad b_2 = -1$ (Sattelpunkt) (Fig. 30)

$a_1 = 2, \quad b_1 = 1, \quad b_2 = 1$ (Knotenpunkt erster Art) (Fig. 32)

$a_1 = 1, \quad b_1 = 1, \quad b_2 = 2$ (Knotenpunkt zweiter Art) (Fig. 33)

gewählt. In Übereinstimmung mit Gleichung 72) in der Form

$$\Phi = y \cdot \mathfrak{P} + z^2 \cdot \mathfrak{Q} = 0$$

geschrieben lauten die Gleichungen der zugehörigen Integralkurven:

$$y \cdot (x^2 - y + 2\, z) - z^2 = 0 \tag{126}$$

$$y \cdot (y - 2\, x z) + z^2 \cdot (x^2 - y) = 0 \tag{127}$$

$$y \cdot (1 + 4\, x z) - z^2 \cdot (x^2 - y)^2 = 0. \tag{128}$$

Fig. 30.

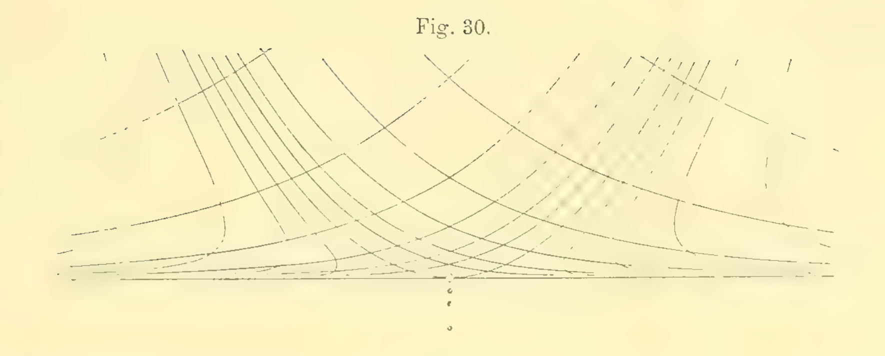


Fig. 31.

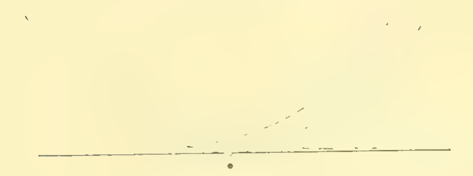


Fig. 32.

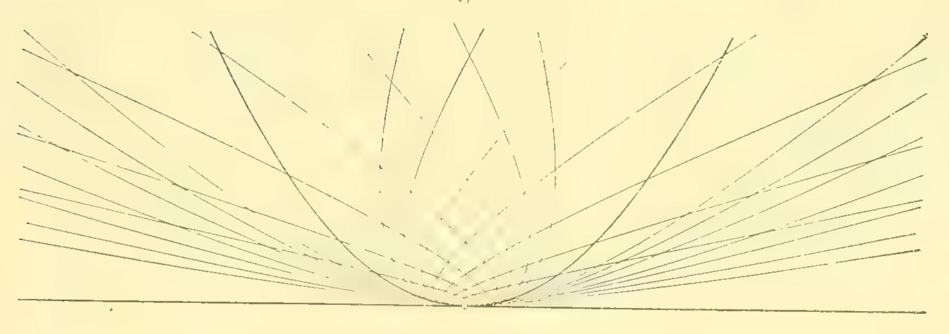
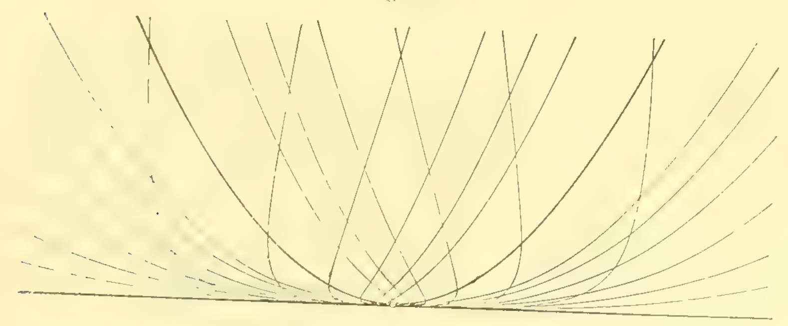


Fig. 33.



Zum ersten dieser Fälle mag noch auf das in den Gleichungen 88, 89 gegebene Beispiel hingewiesen sein, welches (Fig. 18) einen ganz analogen Verlauf des Systems der Integralkurven ergibt. Indes ist dort die singuläre Linie $y = 0$ Rückkehrkurve der Fläche $\Phi(x, y, z) = 0$, im vorliegenden Falle aber einfache singuläre Linie auf $\Phi = 0$. Dies spricht sich charakteristisch in dem Übergang der Integralkurven durch $z = 0$ aus, wie ihn dort Fig. 19, hier Fig. 31 bezeichnet und bei welchen sich die singuläre Linie $y = 0$ dort zweifach, hier einfach zählend abspaltet.

Was nun noch weitere singuläre Stellen unserer Differentialgleichungen anbetrifft, so enthält die zweite der oben erwähnten Abhandlungen[1]) Untersuchungen über Scharen von Differentialgleichungen, aus welchen sich das Verhalten des Integralsystems einer Differentialgleichung erster Ordnung an solchen Stellen ergibt, in welchen sich zwei Zweige der Diskriminantenkurve durchsetzen. Dabei sind jene beiden Zweige im allgemeinen Spitzenorte. Man kann nun als nächst höhere Singularitäten diejenigen betrachten, bei welchen jene beiden Zweige, oder einer derselben singuläre Lösungen der Differentialgleichung sind. Die Untersuchung der hier möglichen einfachsten Fälle, von denen einige in den Figuren 16, 20, 21, 23 und 24 der gegenwärtigen Abhandlung vorliegen, bietet keine Schwierigkeit.

[1]) Sitzungsberichte der Münchener Akademie vom Jahre 1892, S. 101.

Inhalt.



Abhandlungen
der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
XXV. Band, 5. Abhandlung

Zwei wiederaufgefundene Prognostica von Johann Kepler auf die Jahre 1604 und 1624

von

Walther von Dyck

Vorgelegt am 5. November 1910

München 1910
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



Kepler hat bekanntlich seit seinem ersten Wirken in Graz von Amts wegen, um des Verdienstes willen, wie auch aus persönlichem Interesse an meteorologischen und astrologischen Betrachtungen Calendaria und Prognostica verfaßt. Wir geben zunächst, weil die bezüglichen Angaben nicht durchweg genau sind, eine Zusammenstellung der seither bekannten Prognostica Keplers.

1. Prognostica aus der Grazer Zeit.

Während seines Aufenthaltes in Graz, als Landschaftsmathematikus des Herzogtums Steyer hat Kepler, seiner Verpflichtung gemäß, Kalender regelmäßig herausgegeben, den ersten im August 1594 für das Jahr 1595, den letzten wahrscheinlich Ende 1599 für das Jahr 1600 [1]).

Von den Kalendern dieser ersten Periode sind nur zwei bekannt, der

„Schreib Calender auff das Jahr nach deß Herrn Christi vnsers Erlösers Geburt MDXCVIII. Gestelt durch M. Joannem Kheplerum, Einer Ersamen Landschafft deß Herzogthumbs Steyr Mathematicum. Gedruckt zu Grätz in Steyer durch Hansen Schmidt.“ verbunden mit einer

[1]) Vgl.: Joannis Kepleri astronomi Opera omnia. Edidit Ch. Frisch (in der Folge kurz als Opera zitiert), vol. I, p. 295 ff., wo die hierauf sich beziehende Korrespondenz zwischen Kepler, Mästlin, Hafenreffer u. a. sich findet. Ferner die bekannte Ausgabe des Briefwechsels von Kepler von M. G. Hanschius — Joannis Keppleri aliorumque Epistolae mutuae — vom Jahre 1718, p. 1 (in der Folge als Epistolae zitiert).

Von dem ersten Kalender für 1595 ist die Widmung an die Verordneten der Landschaft Steyer, vom 1. August 1594 noch erhalten, sowie einige weitere Widmungsbriefe, abgedruckt in den Annalen zu Keplers Leben, Opera, vol. VIII. 2, p. 679 u. ff.

Frisch spricht an dieser Stelle von nur fünf Prognosticis der Grazer Zeit, für die Jahre 1595 bis 1599. Doch ist anzunehmen, daß Kepler auch für das Jahr 1600 ein Prognosticum verfaßt hat. Er schreibt nämlich im September 1599 an den bayrischen Kanzler Herwart von Hohenberg:

„. . . Qui eget servit, at vix quisquam sponte servit unquam. Quod nativitates et Calendaria interdum scribo, ea me Christe molestissima mihi servitus est, sed necessaria, ne scilicet ad breve tempus liber, post turpius serviam. Itaque ut salarium annuum, ut titulum et locum defendam, obsecundandum est imperitae curiositati. Quidquid mihi superesset, jurejurando sancirem, in studia philosophiae impensurum.“ (Opera, vol. VIII, 2, p. 705).

Hier tritt Keplers Verpflichtung als Landschaftsmathematikus um so mehr hervor, als er infolge der Maßregeln der Gegenreformation ein Lehramt in Graz nicht mehr bekleidete. Die Enthebung von seiner Stellung als Landschaftsmathematikus erfolgte dagegen unter Hervorhebung und Belohnung seiner Verdienste um die Landschaft erst Ende September 1600. Vgl. das Testimonium und Commendationsschreiben der Verordneten vom 4. September 1600. Opera, vol. VIII, 2, p. 735.

„Praktica auff die vier zeiten, auch andere Bedeutungen der Planeten vnd Finsternussen. Gestelt auf das Jahr nach Christi Geburt 1598[1]).“

und der

„Schreib Calender auff das Jahr nach des Herrn Christi vnsers Erlösers Geburt MDXCIX. Gestelt durch M. Joannem Keplerum, Einer Ersamen Landschafft des Herzogthumbs Steyr Mathematicum. Auff des Poli Borealis höhe 47 Grad. Gedruckt zu Grätz in Steyr durch Hansen Schmidt.“

„Praktica auff die Bedeuttungen der siben Planeten vnd Irer Aspecten. Mit angehengtem kurtzem Bericht, vonn der verflossenen Sonnen Finsternuß, den 7. Martii des verschinen 1598. Jahrs[2]).“

2. Prognostica aus der Zeit des Aufenthaltes in Prag.

Von den Prognosticis, die Kepler während seiner Tätigkeit in Prag (Ende Oktober 1600 bis Januar 1612) als kaiserlicher Mathematicus geschrieben, ist bisher nur eines, das des Jahres 1605 bekannt geworden, das

„Prognosticum. Auff das Jahr nach der gnadenreichen Geburt vnsers Herrn vnd Heylandes Jhesu Christi (der gewohnlichen Rechnung) 1605.

Sampt einer aussführlichen verzeichnus, wie das Gewitter dieses verschienen 1604. Jahres sich von tag zu tag alhie zu Prag angelaßen, vnd mit dem Himmel verglichen. Item, einem gründtlichen Bericht von erscheinung eines vngewohnlichen Newen Sternens.

Gestelt auff den Pragerischen Horizontem: Durch Johan Kepplern, Röm: Kay: May: Mathematicum. Gedruckt zu Prag, in Schumans Druckerey. Anno: M.DC.V.[3]).“

---

[1]) Original auf der Bibliothek in Graz. Abgedruckt Opera, vol. I, p. 392—400.

[2]) Original auf der Bibliothek (des Johanneums) in Graz. Abgedruckt Opera, vol. I, p. 401—409. Der auf diesen Kalender bezügliche Briefwechsel Keplers ebenda S. 409 u. ff. Bezüglich des Titelblattes vgl. Reitlinger, „Johannes Kepler“ (Stuttgart 1868), S. 122.

[3]) Abgedruckt Opera, vol I, p. 451—478. Der zuletzt genannte, mit besonderem Titelblatt versehene Bericht: „Gründtlicher Bericht von einem vngewohnlichen newen Stern, wellicher im Oktober diß 1604. Jahres erstmahlen erschienen“, bildet den Anhang zu dem in Prag gedruckten Prognosticum. Er ist aber auch schon vorher in Straßburg in einem anderen Satz und Druck herausgegeben worden „Gedruckt zu Straßburg bey Johann Carolo. Anno MDCIIII.“, dort mit einem besonderen auf die Himmelserscheinung bezüglichen Titelkupfer.

Die Münchener Staatsbibliothek besitzt einen Straßburger und einen Prager Druck (unter Astronomia particularis, 516.15 und 516.16).

Auch von dem Prager Druck, der in den Werken reproduziert ist, scheinen zwei Ausgaben zu existieren, denn der in München befindliche Druck (ohne Jahreszahl) enthält, außer Verschiedenheiten des Titelblattes, am Schluß noch die Bemerkung „Cum facultate Superiorum. Nit nach zudrucken“, die in dem Abdruck in den Werken fehlt. Es bestätigt diese wiederholte Auflage die mehrfach in Keplers Briefen sich findende Bemerkung von dem guten Absatz dieser kleineren Schriften.

In der Einleitung zu diesem Kalender wird das Prognosticum des vorausgehenden Jahres 1604 als das neunte bezeichnet. Die jährliche Veröffentlichung seit 1595 hat also eine Unterbrechung erlitten. Nun geht einerseits aus einem Briefe des Pastors Fabricius an Kepler hervor, daß Kepler 1602 und 1603 Kalender herausgegeben hat[1]). Andererseits scheint die Annahme einer Lücke für das Jahr 1600 nach den vorhergehenden Bemerkungen (S. 3, Anmerkung 1) unwahrscheinlich. So müssen wir sie wohl auf das Jahr 1601 setzen. In der Tat fällt in den Spätherbst des Jahres 1600 Keplers Übersiedelung nach Prag, während welcher Kepler an Wechselfieber erkrankte, unter dem er bis ins folgende Jahr litt; auch fallen in diese Zeit noch Unterhandlungen mit Mästlin, von welchen sich Kepler die Möglichkeit in die Tübinger Fakultät aufgenommen zu werden erhoffte. So mochte, zumal Kepler in Prag nicht offiziell zur Abfassung von Prognosticis verpflichtet war, das Prognosticum für das Jahr 1601 nicht zustande gekommen sein. Das Archiv der Pulkowaer Sternwarte enthält aber unter dem Titel „Collectanea ad prognosticum Anno 1600“ kurze Bemerkungen Keplers im besonderen bezüglich der Genesis Kaiser Rudolfs II., des Erzherzogs (späteren Kaisers) Ferdinand (II.) und anderer Fürsten, welche vielleicht für jenes Prognosticum verwertet werden sollten[2]).

Weiter befindet sich ebenfalls auf der Sternwarte in Pulkowa ein

„Fragmentum Prognostici in annum 1604“,

das in Band VIII der Gesamtausgabe abgedruckt ist[3]).

Es ist dieses Bruchstück der zweite Bogen des dreieinhalb Bogen umfassenden Prognosticums für **1604**, von dem ein vollständiges Exemplar sich auf der K. Hof- und Staatsbibliothek in München befindet. Obwohl dasselbe dort neben dem Prognosticum von 1605 in dem um 1830 angefertigten handschriftlichen Katalog richtig eingetragen ist[4]), scheint es doch der Aufmerksamkeit des Herausgebers der Werke, wie auch späterer Forscher entgangen zu sein. Wir bringen das Prognosticum im folgenden zum Abdruck.

---

[1]) Vgl. die von Frisch in den Opera, vol. I als Einleitung zu den „Calendaria et opuscula astrologica“ gegebenen Auszüge des auf der Sternwarte in Pulkowa aufbewahrten Briefwechsels zwischen Kepler und Fabricius, p. 345 (Brief des Fabricius vom 26. Dezember 1603):

„Prognosticum tuum ad annum 1604 mihi transmittas quaeso. Maxime placuerunt duorum praecedentium annorum, et video alium in iis genium aliamque experientiam, quam in aliorum calendariis.“

Von dem hier gemeinten Kalender von 1602 ist wohl die „an die Philosophen“ gerichtete, lateinisch abgefaßte Schrift „De fundamentis astrologiae certioribus nova dissertatiuncula ad cosmotheoriam spectans cum prognosi physica anni ineuntis a nato Christo 1602 ad philosophos scripta“ (Opera, vol. I, p. 417—438) zu unterscheiden.

[2]) Opera, vol. VIII, pars II, p. 733. [3]) Opera, vol. VIII, pars I, p. 321—326.

[4]) Unter: Astronomia particularis 516.17. 4⁰.

Vom Jahre 1607 an hat Kepler, wie er in einem Briefe an Fabricius (vom 10. November 1608) mitteilt, die Veröffentlichung von Prognosticis unterbrochen [1]). Über die Gründe hiezu gibt die Thesis CXXXIII des „Tertius interveniens" (gedruckt 1610) näheren Aufschluß, in welcher es heißt [2]):

„. . . Dann weil die Astrologi keine besondere Spraach haben, sondern die Wort bey dem gemeinen Mann entlehnen müssen, so wil der gemeine Mann sie nicht anderst verstehen, dann wie er gewohnet, weiß nichts von den abstractionibus generalium, siehet nur auff die concreta. Lobt offt einen Calender in einem zutreffenden Fall, auff welchen der author nie gedacht, vnd schilt hingegen auff jhn, wann das Wetter nicht kömpt, wie er jhms eyngebildet, so doch etwa der Calender in seiner müglichen Generalitet gar wol zugetroffen: Welcher verdruß mich vervrsachet, daß ich endtlich hab auffhören Calender zu schreiben [3])."

3. Prognostica aus der Zeit des Aufenthaltes in Linz.

Kepler hat die Abfassung von Kalendern erst in Linz wieder aufgenommen, in seiner Eigenschaft als Mathematicus des Erzhertzogtums Österreich ob der Enß (1612—1626). Frisch vermutet auf Grund vorhandener Dekrete (Rechnungsnachweise) der österreichischen Stände [4]), daß der erste Kalender jener Periode der für das Jahr 1617 ist. Die Dekrete beziehen sich auf die Kalender der Jahre 1617, 1618, 1619, 1620 und 1623 [5]). Bisher bekannt sind von diesen das

---

[1]) Opera, vol. I, p. 357, sowie vol. VIII, pars II, p. 780, „. . . Prognostica desii scribere . . .".

[2]) Opera, vol. I, p. 646.

[3]) Man vergleiche auch die Ausführungen in der an den Markgrafen Georg Friederich zu Baden und Hochberg gerichteten Widmung dieses Werkes, „in puncto Astrologiae retinendae, vel abiiciendae". Opera, vol. I, p. 549 u. ff.

[4]) Opera, vol. I, p. 291.

[5]) Ebenso spricht die bekannte Stelle aus einem in jener Zeit geschriebenen Brief (vom 7. Februar 1617) an den Straßburger Professor Bernegger für diese Vermutung:

„Deseror a Caesarianis fisci procuratoribus, non solvuntur reliqua mea; videtur astronomiae matri petendum subsidium ab astrologia meretricula. In id igitur incumbit typographus meus, ut magnum aliquem numerum prognosticorum meorum extrudat, cupitque certior fieri, num aliquis numerus Argentinae distrahi possit. En tibi exemplum horni prognostici; praefationem ejus cogito recudere in sequentis anni prognostico, si vixero . . . ." Opera, vol. I, p. 660.

Auch die ebendort (p. 661) erwähnte Stelle eines Briefes an den kaiserlichen Rat Wackher

„Ut primum Praga domum redii (Mai 1617), ad Tabularum et Ephemeridum opus redii, utque sumtus ad Ephemerides duorum annorum expedirem, vile Calendarium cum Prognostico scripsi, quod paulo admodum honestius est, quam mendicare . . ." spricht für das Jahr 1617 als der Zeit der Wiederaufnahme dieser meteorologischen und astrologischen Tätigkeit Keplers.

„Prognosticon Von aller handt bedraulichen Vorbotten künfftigen Vbelstands in Regiments- vnd Kirchensachen, sonderlich von Cometen vnd Erdbidem, auff das 1618. vnd 1619. Jahr. Johann. Keppleri, Der Röm: Kays. Mayt. etc. vnd dero Getrewer Löbl. Landt. dess Ertzhertzogthumbs Oesterreich ob der Enß, Mathematici. Gedruckt im Jahr MDCXIX[1]).“

sowie das Prognosticum vom Jahre **1623**, welches beigefügt ist an den

„Discurs Von der Großen Conjunction oder Zusammenkunft Saturni vnd Jovis im fewrigen Zaichen dess Löwen, so da geschicht im Monat Julio dess MDCXXIII. Jahrs.

Wie auch von den viel- vnd Mannigfaltigen Prognosticationibus vber dieses Jahr, was aigentlich zu einer jeden Vrsach gegeben, auch wessen man sich zu einer vnd der andern zu versehen habe.

[Sambt beygefügtem gewohnlichen Prognostico, vber dass Gewitter, Fruchtbarkait, Qualitet der Lufft, vnd was auff die Menschliche Händel vom Gestirn Natürlicherweise folget.]

Gestellt durch Johann Kepplern, Kays. vnd Oester. Mathematicum. Gedruckt zu Lintz, durch Johann Blancken. MDCXXIII[2]).“

---

[1]) Originale auf der Münchener Staatsbibliothek (Astron. part. 517.20) und auf der K. Bibliothek in Dresden. Opera, vol. I, p. 479—494. Auch hier ist, nach der Verschiedenheit der Orthographie zu schließen, der Münchener Druck verschieden von dem in den Werken reproduzierten.

[2]) Die Münchener Staatsbibliothek besitzt von diesem Diskurs drei gleiche Exemplare (Astron. part. 512.6; 518.18; sowie Polem. 2769.21), aber in einem anderen Druck als dem in den Opera publizierten, dessen Titelblatt wir oben gegeben haben. In den Drucken der Münchener Bibliothek fehlt der oben in eckige Klammern eingeschlossene Zusatz des Titels. Der Druck ist hergestellt in „Nürnberg, bei Johann Friderich Sartorio. 1623“. Es fehlt auch die Widmung an den Herzog Wolffgang Wilhelm in Bayern, Pfalzgrafen am Rhein, sowie das dem Diskurs in der Linzer Ausgabe vorangestellte Prognosticum. Die Nürnberger Ausgabe scheint die frühere zu sein. Jedenfalls ist die das Prognosticum enthaltende Linzer Ausgabe erst im Laufe des Jahres 1623 erschienen, wie aus der Widmung hervorgeht:

„. . . Dieweil aber doch ich zu erweisung meiner continuirenden gewöhnlichen Arbait daß Teutsche Exemplar meines Discurs etlichen Kunstverstendigen, sonderlich vmb rathsamblicher Censur willen, zu lesen gegeben, vnd deren etliche (welche weil gehabt solches abzulesen), vber alles mein bedenken mich vermahnet, nach der publication zu trachten, als hat sich entlich auch der hiesige Trucker, dem bißhero an Zeit vnd Zeug gemangelt, zu nachmahliger Truckung deß Discurs, vnangesehen allbereit ein Thail vom Jahr zuruck gebracht, selber angemeldet . . .“

In den Werken ist der Diskurs samt Vorrede und Prognosticum in vol. VII, p. 685—713 abgedruckt. Merkwürdigerweise aber erwähnt Frisch das Prognosticum weder in der Aufzählung und Besprechung der noch vorhandenen Prognostica und Calendaria Keplers (in vol. I, p. 291 ff.) noch später in dem (übrigens auch sonst nicht vollständigen) Index rerum et auctorum (in vol. VIII, pars II, p. XVIII) bei den Kalendern oder an anderer Stelle seiner Erläuterungen. Auch Reuschle erwähnt dieses Prognosticum in seiner sehr wertvollen Keplerbiographie (Kepler und die Astronomie. Frankfurt a. M. 1871) nicht, und spricht ebenso wie Frisch nur von fünf noch vorhandenen Prognosticis (der Jahre 1598, 1599, 1602, 1605 und 1618/19).

Bei gelegentlichen Studien über Keplers Leben habe ich nun neben dem schon erwähnten Prognosticum auf das Jahr 1604 auch noch das Prognosticum meteorologicum für **1624** in der Münchener Staatsbibliothek aufgefunden. Es fand sich in einem Sammelband von Keplerschen Abhandlungen (unter Astronomia universalis 83, 4⁰), von welchen bei der seinerzeitigen Katalogisierung (im Jahre 1830) versehentlich nur die erste Abhandlung in den Katalog aufgenommen worden war.

Dieses Prognosticum von 1624 ist wahrscheinlich überhaupt das letzte von Kepler verfaßte. Dafür sprechen die späteren Lebensumstände Keplers, welcher seit den Reisen im Jahre 1625 und nach seiner definitiven Auswanderung aus Linz (im November 1626) keinen festen Wohnsitz mehr besessen. Auch finden sich weder in späteren Arbeiten noch im Briefwechsel Keplers, soweit veröffentlicht, Angaben über weitere Kalender oder Prognostica.

Daß Kepler für die beiden Jahre 1621 und 1622, während welcher er von Linz abwesend war, keine Prognostica geschrieben, ergibt sich außer aus jenen oben zitierten Rechnungsnachweisen aus einer brieflichen Mitteilung Keplers an den Danziger Mathematiker und Astronomen Crüger vom Jahre 1624, und aus einer Bemerkung in dem soeben erwähnten „Diskurs" von 1623, die wir unten folgen lassen [1]).

Die vorstehenden Ausführungen lassen erschließen, daß Kepler in den bezeichneten drei Perioden seines Lebens im ganzen 17 Prognostica verfaßt hat: Sechs für die Jahre 1595—1600 in Graz, sodann sechs für 1602—1607 in Prag, endlich fünf für die Jahre 1617, 1618/19, 1620, 1623 und 1624 in Linz. Von ihnen besitzen wir mit den beiden im folgenden veröffentlichten [2]) nunmehr die Prognostica für 1598, 1599, (1602) [3]), **1604**, 1605, 1618/19, 1623 und **1624**.

---

[1]) Vergleiche die beiden Zitate zu Anfang der nachfolgenden „Bemerkungen zum Prognosticum für das Jahr 1624".

Kurze Prognostica für jene Jahre enthält der „Astronomische Bericht, Von Zweyen im Abgelauffenen 1620. Jahr gesehenen grossen vnd seltzamen Mondsfinsternussen: Wie auch von der grossen Sonnenfinsternuß, so in jetzlauffenden 1621. Jahr den 11/21 Maji erscheinen wirdt", welchen Kepler in Ulm 1621 verfaßt und dem Herzog Johan-Friderich zu Württemberg gewidmet hat. (Opera, vol. VIII, 1. pag. 3—20.)

[2]) Der folgende Abdruck der Prognostica gibt die beiden Titelblätter genau nach dem Original wieder. Im übrigen haben wir auf einen durch Autotypie hergestellten Abdruck der in sogenannter Schwabacher Schrift gedruckten Originale verzichtet, da sie typographisch kein besonderes Interesse bieten. Nur die Orthographie ist genau beibehalten und auf dem Rande die Seitenzahl des Originals angemerkt worden. Die Antiqua des Originals ist durch Kursivschrift ersetzt.

[3]) Das Prognosticum von 1602 nur lateinisch, als Anhang zur Schrift „De fundamentis astrologiae certioribus". Man vergleiche die vorstehende Anmerkung 1 auf Seite 5.

PROGNOSTICUM
Auff das Jahr nach Christi vnsers Heylandes geburt 1604.

Sampt vorgehendem nutzlichem bericht: warzue die Astronomia vnd Artes Mathematicæ dienstlich seyen.

Gestelt
Durch M. Johan Kepplern/Röm: Kay: May: Mathematicum.



Gedruckt zu Prag / in Schumans Druckerey.



Dem Wolgebornen Herrn, Herrn Wolffen [S. 3]

Vnverzagten, zu Ebenfurth vnd Regelbrun, Freyherrn auff Retz,

Pfandt Inhabern baider Herrschafften Haimburg vnd Peternell: Röm: Kay: May: Rath vnd Hoff-Cammer *Præsidenten*: Meinem Gnädigen vnd gebiettenden Herrn.

WOlgeborner Freyherr, Gnädiger vnd Gebiettender Herr! E: Gn: seind mein gehorsame dienste bevor. Weil es nun vber hundert Jahr der brauch gewest, daß ein jeder *Astronomus* zu eingang eins Newen Jahrs seine auß natürlichen vrsachen, vnd dem Himmels lauff, geschöpffte gedancken von künfftiger witterung vnd andern zufällen, auffs Papir gebracht, vnd in druck geben: Ich auch dasselb nun mehr in daß zehende Jahr gepflogen: hab ich auch ditz künfftige Jahr *continuiren,* vnd hierbey alß gleich bey einem kampf, da jrer vil nach dem danck streben, wenig aber den erlangen, mein bestes vnd müglichistes thuen wöllen: guetter hofnung, eine solliche jebung werd mir je mehr vnd mehr zu besserer erkündigung der Geheimnussen der Natur gedeyen: In massen dann Ich eben zu dem end noch fast allwegen des verlauffs eines alten Jahrs erwartet, vnd meine *Prognostica* gegen den ervolgten Zufällen gehalten: wünschete auch, andere wölliche mit jrer köstlichen Arbeit so sehr gehn Marckh eilen, gleich als wär nichts mehr zu lernen, beflissen sich eines ebenmässigen: damit den noch restierenden Mängeln in diser *facultet,* durch gemeines Aufmercken an vnderschiedlichen Orten, dermahlen eins nach müglichen geholffen, vnd entlich auch ein nutzen hierbey erschöpffet würde.

Weil dan von Ir Kay: May: mein Vnderhaltung E: Gnaden anbefohlen worden, vnd krafft dessen E. Gnaden bißhero mir alle mügliche gnädige befürderung erzeigt: hab Ich Dero mit gehorsamer *dedication* diß geringen Werckleins, mein danckbares Gemüth etlicher massen, weil ich jetzo mehrers nit vermöcht, in vnderthänigkheit erweisen sollen.

Damit aber solliches E: Gnaden desto annämlicher, vnd in gemein desto mehr [S. 4] nutzen schaffe: wöllen E: Gn: mir nit verargen, so ich zu rettung der *Astronomia* etwas weniges, vnd eben das jenige, so E: Gnaden zuvor wol, aber dem gemeinen Hauffen vbel bekhant, hiebey füge.

Dann es nunmehr etlich hundert Jahr die gemeine clag gewest, alß ob die hohe Potentaten den vncosten an kein einig ort vbeler anlegten, als eben auf die *Astronomos.* Vnd ist solliche vngedult dieser zeit vmb soviel desto grösser: weil, wie anfangs gemeldet, man mehrertheils sich auff die *Prognostica* vnd Calender legt, deren alle Druckhereyen vnd Buechläden voll machet, vnd hiermit dem gemeinen Man zu seinem fürwitz zum gueten theil dienstlich ist: Dahero die gemeine vermuethung, daß es in den *Mathematicis artibus* nur allein vmb ein *Practica* zu thuen seye. Wan nun etwa zu abzahlung des Christlichen, wider den Erbfeind streittenden Kriegsvolcks, oder anderer vmb den gemeinen nutzen wol verdienter Personen, oder zu erzeugung allerhand vnentperlicher notdurften, es sich mit dem gelt ein wenig sperret, vnd hier zwischen vnder sonst vil tausenden etwa ein *Astronomus* seine angebür für andern empfahen soll: da erreget sich der mißgunst, vnd die gedancken; warzue dan ein Calender vnd *Practica* nütze, ob man nit viel ehe ein armen Soldaten oder zwen befriedigen, oder andern notleidenden personen zu hülff kommen solle: Meinen es möcht wol biß zu fridens zeiten verzug haben, Ja allerdings vermitten pleiben.

Disem wohn abzuhelffen, vnd des dürftigen Nebenmenschens vngedult zu stillen, ist vonnöthen, das man etlicher massen an tag thue, vnd wol ein bilde, warzue die *Astronomia* vnd alle *artes Mathematicæ* in eim wolbestelten Regiment dienstlich seyen. Vnd soll anfangs ein jeder Mensch jme einig begnügen lassen, wann nit mehr dan die Ehr Gottes des Schöpffers in diser *Facultet* betrachtet, vnd solliches von jr erwisen würde. Es ist je ditz eben das jenige grosse Buech der Natur, in dem, nach des H. Apostels Pauli lehr, alle völcker, vnd sonderlich wir Christen, die Göttliche allmacht, weisheit, vnd nichts dan lauttere lieb zu dem Menschlichen Geschlecht, zu lesen vnd zu lernen haben. Darum dan auch der Heilig Prophet vnd König David, so offt er sich aufs [S. 5] allerhöchste vber seinem allmechtigen Gott verwundern, vnd jne mit vollem Hertzen Geist vnd Mund recht loben will: anfahet seine zunge gehn Himmel, an das Gestirn, an Sonn vnd Mond zu erheben, vermeinend hierdurch sein *Intent* am aller besten ins werck zurichten.

Mit warheit mag ichs sagen, das so oft ich die schöne ordnung, wie eins aus dem andern folget vnd abgenommen wirdt, mit meinen gedancken auff einmahl durchlauffe, so ists, alls hett ich ein göttlichen, nit mit bedeuttenden buchstaben, sondern mit wesentlichen dingen in die Welt selbsten geschribenen Spruch gelesen, dessen inhalts: Mensch streckh deine Vernunfft hieher, diese dinge zu begreiffen. Wie dan die Fünsternussen baider liechter sonderlich das erweisen: ohne die wir allerdings hie niden auff Erden pleiben, vnd in der *Astronomia* nichts wissen: wölliche auch sonsten in der welt keinen andern

bekhantlichen nutzen haben, dan allein vns Menschen die *Astronomiam* zu lehren. Darauß augenscheinlich erwisen wierdt, daß es der will Gottes sey, daß vns Menschen diß grosse Buch der Natur, nämlich die *Astronomia,* vnd durch dieselbige seine Allmacht vnd weisheit, jedem nach seinen verstand vnd tüglicheit bekhant werde. Weil dann in einem verschlossenen Buch niemand lesen kan: so folget, das ditz ein Kayserlich Königlich vnd Fürstlich werck sein muesse, notwendigen vncosten drauff zu wenden, damit sollich treffentlich Buch vnd *Antiquitet* zu allen zeiten je mehr vnd mehr aufgethon, die kunst solliches zu lesen herfür gebracht, seine sprach verdolmetschet, vnd der innhalt dem Menschlichen geschlecht entdecket werde: damit alle Menschen mit einhelliger stimme Gott dem schöpffer seine gebürende Ehr vnd danckh vermelden.

Wie nun auß Göttlichem befehl die Israeliten im alten Testament, vnd hernach die Christliche Potentaten von zwölfhundert Jahren hero auff erpawung schöner Tempeln, Klöster, Kreutzgänge, *Oratororum, Ecclesiarum, Altarium,* vnd stifftung allerhand köstlicher Kirchenzierde, von Gold, Silber, Perl, vnd Edelgestein, einen vnermeßlichen schatz angewendet, nit zwar alles zu notdürftiger seelenartzney, deren an schönen gebewen, Gold vnd Silber nichts gelegen ist, sondern einig Gott vnsern Schöpffern vnd Heiland in sollichen geheiligten dingen, nach jedes verstand vnd müglicheit zu ehren: gewisser hoffnung, daß sie vnd die irige hierdurch nit verarmen werden: Also haben auch [S. 6] baids Haidnische vnd Christliche Potentaten die *Astronomiam* gleichsam einen theil dises Gottesdiensts sein lassen, vnd selbige zu allen zeitten, nach glegenheit der zeit vnd ort (jre *Reputation* vnd *Magnificentiam* darmit zuerzeigen) fortpflantzen helffen: Denen jren vorfahren zu ehren, vnd den nachkommenden zum besten, noch heuttiges tags vil Christliche Potentaten dasselbig auch *continuiren.* Zu dem end seind von alters hero auf allen *Vniversiteten Professores* bestelt, wölliche der studirenden jugend das jenige, was man bißhero gelernet, fürtragen vnd einbilden sollen. Weil aber dieselbige eintweder nit weil, oder auch nit alle das *Ingenium* haben, etwas ferners zuerforschen: ist es billich, das andern, so die gefell nit innen haben oder geniessen, aber für andern, vnd jnen allen zum besten etwas *præstirn* könden, auch vnder die arm gegriffen, vnd ein *Extraordinari* vnderhaltung gemacht werde: vnd pleiben solliche neben der Geistlicheit vnd *Professoribus Vniversitatum* bey gleichem rechten: der gestalt, daß wann die allgmeine not so hoch, daß man krieg mit geistlichen vnd schuelgefällen außführen, vnd also was sonsten zu Gottes ehren gewidmet, darstrecken mueß, sie als dan billich mit andern sich gedulden vnd hinder sich stehen oder *contribuiren.* Allweil aber jenen jre gefell richtig vnd vngehindert einkommen: Ja alldieweil zu schawspielen, zu costlicher kleidung, zu

hochzeitlichen ehren zu *Banqueten* zu außhaltung einer grossen anzahl muessiger diener (nämlich zu erhaltung eines jeden *privat reputation*) gnueg fürhanden: macht jme ein anderer dürftiger billich die rechnung, daß ein Potentat noch wol so vil auch Gott zu ehren zuspendiren haben, vnd mit eim sollichen wenigen anderwegs nit weit gevolgen, auch da Er es hie zu ersparen, vnd jme oder eim andern zuraichen gemeint, an vil andern erst gerhüereten Orten, vnd verpott solliches allgemeinen vberflusses anfahen würde: wie dan Ime auch zu seiner hohen *discretion* vorbehalten, eine sach bey zeiten, allweil *ingenia* vnd das taugliche alter fürhanden, mit notwendigem vncosten zutreiben, oder solliche biß zu vngewisser fridens zeit aufzuschieben. Vnd ist hiermit sovil erwisen, daß in eim wolbestelten *Regiment* die *Astronomia* zu der ehr Gottes dienstlich vnd derohalben so wenig vnd weniger als andere erzehlte sachen, zu vbergehen sey.

[S. 7] Nebens aber, vnd wie es in geistlichen, sachen beschaffen, daß die jenige ehr, wölliche der Mensch seinem Schöpffer mit täglichem Gottesdienst erzeiget, nit allein von Gottes selbsten wegen gleich als bedürffte Er für sich deren so hoch, sondern auch, vnd vil mehr, zu sein des menschen bestem gemeint, vnd er hierdurch nit allein täglich gebessert, sondern auch hieran sein geistliche wonn vnd freud, vnd tägliche ergetzlicheit hat: Also vnd gleicher massen mag neben der erstberhürten Gott gebürenden ehr, kein rhümlichere, auch bey vilen kein grössere erlustigung vnder allen weltlichen freuden erdacht werden, dan eben dise, so auß der *Astronomia* vnd betrachtung der geschöpffe Gottes herfliessen: wan ein alter betagter, vnd in politischen verrichtungen vbel geplagt, vnd abgemüdeter Herr, vnderweilen seine geschäfte ein stündlein beseitz stellet, vnd mit seinen gedancken in die weitte welt hinaus spacieret: das jenige, was man täglich je mehr vnd mehr von den geheimnussen der Natur herfür vnd ans liecht bringt, mit ernst anschawet, vnd abermal mit dem H. Propheten David anfahet aus springenden freuden zubetrachten, was doch der Mensch seye, daß Gott sich seiner so hoch anneme, vnd jme ein sollich herrlich *Palatium* himmels vnd der Erden gepawet, jne drüber zu eim Herrn gesetzt, auch jme einen verstand zu sein selbsten ebenbild mitgetheilt habe, dardurch er hieniden auff Erden sitzender, solliche himlische geschöpffe Gottes, vnd deren eigentliche beschaffenheit begreiffen könde.

So nun einer dise herliche erquickung vnd freud dem menschlichen geschlecht mißgünnen, vnd durch vnzeitige kargheit, den vncosten dran ersparen wolte: (wan schon kein fernerer nutzen darbey wäre) der müste abermahl zuvor die sach an andern weniger notwendigen dingen anfahen: vnd erstlichen alle Tantz vnd Balmeister, Instrumentisten, Musicanten, Huet vnd Federschmucker,

Perlhefter, Mahler, Possierer, vnd in summa alle die jenige, wölliche eintweder zur vppigkheit vnd vberfluß anreitzung geben oder nur allein zu leiblicher eusserlicher freud vnd *exercitijs* verhelffen; auß dem weg raumen, vnd denselbigen vbergrossen vncosten zusamen sparen: oder aber vrsachen anzeigen warumb die eusserliche glider, Augen, Ohren vnd dergleichen, jhrer freude besser würdig seyen, als das innerliche menschliche gemueth vnd vernunfft, wölliche doch einig den Menschen von dem Vihe vnderscheidet. [S. 8]

Ob eine solliche ergetzlicheit den Menschen auch bessere, ist zum theil droben vermeldet. Das aber bekennen alle *philosophi* einhellig, daß sie deß Menschen verstand scherffe, das ob er schon von dem jenigen, was er in der kunst begriffen, keinen nutzen für sich selbst hette, er doch hernach zu andern notwendigen *studijs* desto fertiger vnd geübter werde.

Zugeschweigen daß die gantze *Philosophia* auß den Mathematischen dingen entstanden, drinnen bestehet, vnder die eingemischet, vnd so nahe verwant: daß der ohne sie *in studijs* fortfahret lauter in die lufft streichet, vnd sich mit einem schatten schlahet: auch in ewigkeit kein *Philosophus* mit ehren genennet mag werden.

Nebens biegen dise *speculationes* auch dem Menschen verborgener weise, mehr dan alle *philosophi* bißhero befünden könden, seinen willen, zamen jme seine vnordentliche begirden: das weil er zu der schönen ordnung in Geometrischen vnd Astronomischen sachen gewohnet, er auch hernach (wiewol offt mehr der Jünger als der Maister) zur gerechtigkheit, lindigkheit, ehrbarkheit vnd holdseligkeit eine liebe gewinnet weil ohne dise Tugenden ein lauttere verdrießliche *Confusion* der policeyen zugewarten.

Weil aber man in gemein, was man nit mit henden greiffen khan, wenig darvon haltet: vnd zubesorgen, der mehrer theil werd die erzehlte nutzbarkheiten für gering achten: so ists nun zeit, das ich auch von gewin rede, wöllicher dem gmeinen pöfel mehr beliebet.

Will aber jetzo nit mit langem erclären, wie alle handtierungen klein vnd groß edel vnd vnedel, vom Ackerpaw biß zu regierung land vnd leütte, in zahl maß, wag, zeit, Vhr, Zirckel, triangul, richtschnuer, bleywag, winckelhackhen vnd dergleichen *Geometri*schen sachen bestehe, vnd dahero alle menschen aus der *Mathematica* sich ernehren. Allein mueß ich hie einer einred begegnen. Dan es last sich der stoltze handwercksman offtermahls verlauten, wann er nur seinen Circkel vnd seine drauf *fundirte* handtierung habe, die jme seinen gewissen täglichen pfenning eintrage, so bedürffe er oder ein gemeines stattwesen keines *Mathematici* ferner nichts: vnd bedenckt nit, daß er alle diese seine kunst aus der *Mathematica* empfangen, vnd durch sie selber einer auß dem

[S. 9] hauffen seye: stellet sich gleich den vngerathenen Kindern, wann die Mutter sie auferzogen, vnd jnen jrem beduncken nach nichts mehr nutzen kan: so wünscheten sie täglich, sie zöhe dahin zum alten hauffen, vnd verließ jnen das Gütlein. Wie aber zum offtermahlen ein solliche alte aberwitzige Mutter mehr waist, dann alle jre junge Gecken, vnd das jrige thuet, sovil sie khan, vngeacht sie verlachet vnd vnwerth seye: auch mehrmahln einen vbergrossen schaden von jren Kindern abwendet: Also thuen auch die jenige weislich vnd wol, wölliche, vngeacht sie vber die schon lengst bekhante vortheil nit alwegen grossen nutzen für augen sehen, dannoch die *Mathematicas artes* fortpflantzen, vnd allen handtierungen zum besten, erhalten helffen: in betrachtung, daß die jenige kunst, wölliche bißhero daß Menschliche geschlecht so hoch vnd viel genutzet, eben darumb ein vnerschöpflichen schatz in jr verporgen haben müsse: wöllicher sich durch vleissiges nachforschen, wie bißhero, also auch noch füro hin, je mehr vnd mehr, vnangesehen man jetzo nit wisse, wa vnd wie, entdecken werde.

Dan das ich sonderlich von der *Astronomia* rede, so ists vor alter ein grosses gewest, das man erlehrnet gehabt, wie lang das Jahr seye, vnd da man noch nit gepflogen Calender zu haben, die Zeit, Sommer, Winter, Früeling vnd Herbst durch herfürprechen eines Himlischen gestirns nach dem andern hat erkennen lernen: den Ackerpaw darnach anzustellen.

Als man nun hernach den Calender von 365¼ tagen drauf gemacht, von derselbigen Zeit hero ist die wissenschafft des Himlischen gestirns bey dem Pawrsman, der sich an den Calender gehalten, verloschen. Wan nun niemand sich ferner vmb die *Astronomiam* hette angenommen, sondern jederman sich mit ehebesagtem nutzen begnügen wöllen: wie vberschwenglicher vortheil wäre hierzwischen im finstern stecken plieben? wie manicher Mensch wär aus vnwissenheit für der Zeit vmb sein leben kommen, keine schiffarten, keine kauffmanschafften wären auffkommen, *Hispania* wär zu der heutigen Macht vnd reichtumb nie kommen: Alle *Europæ*ische Lande müsten es an zierlicheit vnd vermueglicheit höchlich entgelten: Dern Hollender, wölliche Anno 1597. hinder [S. 10] der Tartarey vberwinteret, vnd drey Monat im finstern gesessen, wär gewißlich kainer lebendig wider nach Hauß kommen.

In gleichem vom Mond zu reden, ist es viel gewest, daß man gelernt ghabt, wie im dreissigsten tag nach dem Neumond, wider einer zu gewarten, vnd zwen Monat vngefährlich 59 tag machen: Wan es nun hierbey verplieben, vnd des Mondslauff nit scherffer erkündigt worden wäre: so hette niemand kein Finsternus vorsagen könden, dardurch abermahl vil schöner vörtel vnd behendigkeiten in Kriegsgewerben, von Griechen, Römern, Spaniern vnd andern gebraucht, hinderstellig verplieben wären.

Hette der *Athenienser* Hauptmann *Nicias* in *Sicilia* gewust, waher ein Fünsternus des Monds käme, so hett er sich nit darfür entsetzet, vnd hett sein stattliche Kriegsmacht von vierzig tausenden nit so schändlich aufgeopffert, dardurch auch sich vnd seine Herrschafft ins verderben gebracht.

Im kunfftigen 1605. Jahr begibt sich ein völlige Finsternus an der Sonnen im hohen mittag: Wan nun die *Astronomia* so scharff verpessert wirdt werden, das man gewisse mahlstätt würdt ernennen khönden, an wöllichen es sinckhende nacht werden soll: solt es nit müglich sein, einem Obristen, der es waist, ein Vestung zu ersteigen, vnder dessen die besatzung bestürtzet, vnd erschrockhen ist?

So man dan bißhero nichts weiters in *Astronomia* hette studiren wöllen: so wüsten wir heutiges tags mit vnserer grossen schmach vnd schand nicht Hundert Jahr richtig hindersich zu rechnen, lebeten in diser vergenglichen Zeit, als weren wir gar nit daheimen, sonder frembd drinnen: Wer wolt heuttiges tags dem Menschlichen Geschlecht sagen, das wir mit vnserm Julianischen Jahr in 1300. Jahren vmb zehen oder ailff tag der Sonnen, vnd mit dem alten *Cyclo Paschali* vmb drey tag des Monds verfehleten, Ja wer würde es mercken, wan es so lang anstünde, biß die Weihenächte gar in Sommer, vnd der vermeinte Newmond in den natürlichen Volmond kämen? würde nit entlich bey so mancherley veränderungen gantzer völcker, ein Barbarische vnwissenheit vnd gefehrlicher zweiffel vnder den Menschen entstehen, in dem sie die geschichten der Heiligen Schrifft nit mehr mit den Jahreszeiten der festtäge zu reimen wusten? Gewißlich käm es letzlich dahin, daß wie der vnvernünftige [S. 11] Fisch im Meer daher gehet vnd waist dessen kein end nit, also auch der Mensch in der Zeit lebete, vermeinend sie wär also mit sampt der Welt, von ewigkeit hero, vnd kein Gott der sie erschaffen hette.

Damit ich nun auch ein wenig von dem andern theil, nämlich *Astrologia divinatrice* rede: so haben zwar die erste Menschen der *Astrologia* vil zu dancken gehabt, daß sie gespüret, wie der Sommer mit erhebung der Sonnen, der Winter aber mit dero ernidrigung entstehe, darnach sich sonderlich der feldbaw vnd das gantze Menschliche leben richtet: als zum exempel helt man ditz für die beste Weinberge, wölliche gegen der Sonnen ligen: vnd würdt auff allen feldern vil darnach gesehen, zu wöllicher Jahrszeit sie die Sonne haben mögen. Es ist vil gewest, daß man entlich ergriffen, wie alle feuchtigkeiten in Fischen, Kreutern, Beumen vnd Holtz, mit dem Mond wachse vnd schwinde, wölliches des vralten *poëten Hesiodi* maiste kunst ist.

In der artzney ist es zu eim grossen vortheil gerathen, daß vermerckt worden, wie der Hundessterne böser gifftiger art, vnd wa müglich, mit artz-

neyen zu vbergehen seye, darauff sich dan der *Medicorum Patriarcha Hippocrates* sonderlich *fundiret*.

Vor vralten Zeiten ward ditz vnserer Niderteutschen vnd See stettern die gröste kunst, daß sie gelehrnet, wie der ab vnd zulauff des Meers sich nach dem Mond richte, vnd in 19. Jahren, gleich mit der Guldenzahl oder Mondszirckel, sich widerumb auf die erste weise einstelle: daß dan in der schiffart jnen zu allen zeitten trefflich zu statten kömen.

Noch ist ditz alles nit weiter gelanget, dan allein auff Sonn vnd Mond, vnd etliche wenige Fixsterne, denen man aus jrrigem wohn die Jahrswitterungen einig zugeschrieben, weil sie zu gewissen Jahrszeitten mit etwa einer vngestümme von der Sonnen herfür kommen seind, vnd sich sehen haben lassen. Vnd ist ditz von *Eudoxo* biß auff *Plinium* und *Ptolemæum* gleich also ein algemeine ewigwehrende geschriebene *practica* gewest, die wir noch heutigs tags zu lesen haben. Dahero *Plinius* drüber disputirt, wie es kömme, daß die witterungen nit mit jren eigenen gestirnen erscheinen, sondern offt vierzehen tag, oder gar einen Monat vor oder nach.

[S. 12] Aber, lieber Gott, man hat noch weit zum ziel gehabt, *Ptolemæus* hat erst die fünff vbrige planeten vnd jre *Aspecte* lehrnen *calculiren*, vnd ist heuttiges tags vil, daß man dannoch mit etlichen (wiewol nit mit allen) *Aspecten* gewisse täge trifft, vnd es der verlauff bezeuget, das es nit allerdings spiegelfecht darmit seye. Man thue nur zur sach, vnd verpessere die rechnung, daß man mit allen vnd jeden *Aspecten* die gewisse täge treffe (dan ob man wol ja eben vil geschrieben, ist man doch noch nit gar beim zweck) gewißlich werden es nit vnnötige *subtiliteten* sein, oder wie etliche vermeinen, das Calenderwesen allein antreffen, wölliches nach einmahl fürgewanter *correction*, nun füro beseitz zu setzen seye: vnd da es nit ein jeder Bawrsman jme mit seim Wagen Korn ein zuführen, ein jede Adels Person jro mit jrem angesteltem hetzen würdt wissen zu nutzen machen (wie dan ich es für ein vnmüglich ding achte, so gar *ad speciem locorum & personarum* zu gehen) so werden vns doch andere, die wir jetzo noch nit kennen, vnd zum wenigsten die Schiffleute, für alles, auch das geringste, vleissigen danck sagen: Dan sie baids *Astronomicè, in longitudinibus locorum*, dan auch *Astrologicè*, mit vleissigem auffmercken, wan gefehrliche *Aspecte* vnd vngestümme fürhanden, grossen vortl spüren werden.

Die *Nativitèten* einzeler Personen, vnd was der Mensch drauß für nutzen habe, wil ich, sampt der *Medicina Astrologica*, als ein vnannemlich vnd diser zeit vbel besudelt werck, mit stillschweigen vbergehen. Ein verständiger waist sich seiner *discretion* auch hierinnen wol zugebrauchen. Last es sich nit nutzen,

so last es sich doch auch nit tuschen, sondern schreyet mit erhebter stim, vnd beweiset die göttliche in erschaffung der Welt erscheinende weisheit.

Es pleibt doch darbey, daß die Menschen so wol vnd mehr vom Gestirn, als eben durch die *Institution* vnd gewonheit von einander vnderscheiden werden: Das wan böse *Aspecte* einfallen, die eingerissene seuchen vnd kranckheiten am hefftigisten regieren: Daß der Menschen Gemüter bey starcken *Aspecten* wild, vnd zu allerhand fürhaben muettig vnd vnruehig werden: Vnd ist ja nit vnmüglich einem regentem des gemeinen pöfels jme ditz etwa einmal zu nutz zumachen: wie *im Prognostico* an seinem ort mit zweyen worten eine andeu- [S. 13] tung gethon würdt.

So dan schließlich, sich ein *Philosophus* finden liesse (damit ich vom gemeinen hauffen lasse, vnd widerumb zu den verstendigern komme) dem wolt ich wol sagen, vnd hab es etlicher massen vor zwayen Jahren in meinem Lateinischen tractätl gesagt, wie gar einen Babilonischen Turn *in Philosphia* ich auff die verhoffte scharffverpesserte *Astronomiam* zu bawen getrawete. Dan da sol bekant werden, was bißhero menniglichen verborgen gewest, wie es zugehe, daß die Sterne droben im Himmel lauffend, hie nieden auff Erden etwas würcken: Nämlich das es nit durch einen geisthaften einfluß oder herabfluß (ausserhalb des liechtes einig) oder mit jrem der sterne wissen vnd zuthuen, sondern (neben dem liechte der sternen) von den jrdischen dingen selber. vnd durch dero auffmercken auff der sterne bewegnussen, also beschehe. In gleichem soll bekant werden, durch waserley verstendnuß ein sterne von seiner zugegebenen *Intelligentia* durch seinen bescheidenen Zirckel herumb geführt werde, nämlich durch einen *Geome*trischen, in der erschaffung eingepflantzten, aber gar nit durch lernung oder muetmassung verenderlichen verstand, vnd einig auff den *Circul.* Item sol erscheinen, wie solliche himlische kräfften der *Materialitet* etlicher massen vnderworffen, in dem sie, wie andere cörperliche dinge (*vel quasi*) von nahem stercker werden, dan von fernem, vnd jnen, wie sonsten den natürlichen cräften beschehe, daß sie jrem *Intent* nachstrebend, vnd nit auff andere cräften sehend, von dem angestelten zirckel *per accidens exorbitiren* vnd abweichen. Durch wölliche *considerationes* dan entlich die hochverbottene vnd verdamliche *Magia cœlestis* vnd beschwerung der himlischen vermeinten gaister, von grund auß stattlich widerlegt, vnd als ein lauterer teuffels betrug, zu viler verwirreter köpffe wolfart, entdecket würdt. Da dan auch zu melden, das wie der jenige, so von eim *Scorpion* verletzt würdt, auch von eim *Scorpion* geartzenet vnd geheilet werden mueß: also vnd weil heuttiges tages die *Astrologia* in grossen mißbrauch khommen, vnd die Leutte in gemein nach *Nativiteten* streben, darauß auch offtermahlen ängstige

gefehrliche forcht, oder vergebliche hochschädliche hoffnung schöpffen, vnd zu [S. 14] abgöttern werden: so soll billich ein jeder, der das *Ingenium* hatt, selber nach dem rechten grund streben: damit er auff erkundigung der warheitt, vnd wan er sicht, das hie nichts *fatale,* sondern alles natürlich, vnd jme wie andere natürliche dinge, durch allerhand mittel nemen vnd geben lasse, zu mahl sich selbsten (in massen ich mich zimlich zurhüemen hab) für sollichen vnrhuewigen gedanckhen verwahren, vnd auch andern darmit behafften, deren abhelffen khönde.

Wan dan auß der, durch verbesserung der *Astronomia* gesuchten, vnd so hoch verspotteten *subtilitet,* nichts anders, dann allein ditz jetzo besagte zu hoffen wäre (wie dan was jetzo *de Magia & Metaphysica* gerhüret, nit anderst dan durch die eusserst mügliche *subtilitet* mag zuwegen gebracht werden, vnd theils schon erhalten ist) so solte billich bey einem verstendigen solliche schimpfliche verhönung zu wasser vnd widerumb verhönet, auch keins wegs an nutzbarkeit der im werck schwebenden *Correction* der *Astronomia* gezweiffelt werden. Vnd weil ich schon allberait die vorrede zu weitleuffig gemacht, wil ichs hierbey für dißmahl bewenden lassen: tröstlicher hoffnung: E. Gn: werden sich mit diser erzehlung mehr belüstigen, als mit dem folgenden *Prognostico* selbsten: vnd Iro, wie bißhero, also auch fürohin je mehr vnd mehr die *Astronomiam* belieben, vnd von jrentwegen mich Dero in Gnaden befohlen sein lassen. 10. *Decembris Anno* 1603.

E. G.

Gehorsamer

Johan Kepler Kay. May:
Mathematicus.

Von den vier JahrZeiten, jhrer Witterung, Kranckheiten vnd Fruchtbarkheit. [S. 15]

WIewol ich für einem Jahr nit vnbillich in eim grossen zweiffel gestanden, was der künftige Winter biß zu aufgang ditz 1603. Jahrs für ein gestalt gewinnen werde, in ansehung, das solliche wüchtige *Conjunctiones* selten einfallen, vnd eines einigen Menschen lebzeit zu kurtz, dieselbige wirckungen in sein gemerck zu nemen: jedoch weil nebens die maiste vermuethungen dahin gegangen, daß biß Weihennächten ain weich vngesund Wetter, drauff aber den 27. 28. ziemliche kelte vnd schne folgen solle: also wil ich an jetzo von da anfahen, wie ichs für einem Jahr gelassen, vnd mein vrtheil auff ditz gesetzt *fundament,* vnd vorgehende witterung (wie natürlich) gegründet haben.

Vnd wird ich anfangs wegen der Weihenächte desto mehr *confirmirt,* weil mir ditz Jahr auß vleissiger betrachtung der gehabten *observationum Saturni & Iovis* kund worden, daß *Saturnus* bey 45. oder 50, *Iupiter* bey 8. oder 10. *minuta* die gewohnliche rechnung, vnd dahero gezeigte stelle nit erreichen, derohalben dise grosse *Conjunctio Saturni* vnd *Iovis* nit den 24. sondern den 16. 17. oder 18. *Decembris,* vngefehrlich acht tag früer einfallen werde. Dahero zu vermuethen, daß noch zeitlicher, vnd bald nach dem dreyvndzwantzigisten, wan es zuvor einen schne geworffen, ziemliche kelt folgen, auff den 27. aber, nit allein wegen des vor eim Jahr angezogenen *quadrati Martis & Veneris,* sondern auch, weil nach besserer rechnung, zumahl ein *Sextilis Martis & Saturni* einfelt, ein nüblich kalt vnd getüfft wetter anstehn, vnd mehrern schne werffen solle.

IANUARIUS.

Neumond den 1. vormittag vmb 10. 26.
Erst viertl den 9. Mittags vmb 12. 43.
Volmond den 16. Zu Mitternacht vmb 11. 12.
Letzt viertl den 23. Nachmittag vm 3. 50. [S. 16]
Neumond den 31. Frue vmb 3. 44.

OB wol der *December* mit kelt beschlossen, würdt es doch den 1. *Ianuarij* wind. vnd den 2 waich oder schne Wetter geben, wegen *Sextilis Iovis & Martis, quadrati Solis & Martis:* Ditz weret nit lang, sondern weil jetzo biß nach dem vollmond kein *aspect* mehr folget, wirdt es auch still, vnd nach Winters vnd Landes art, natürlich kalt sein: da man bey hellem Himmel zu morgens für aufgang der Sonnen bayde Planeten *Saturnum* vnd *Iovem* beysamen, vnd *Iovem* je mehr vnd mehr gegen *Orient* würdt sehen khönden.

Den 19. 20. bringt *quadratus Martis & Mercurij* rhawen windt vnd schne.

Vnd weil gleich den 22. drauf ein *Sextilis Saturni & Veneris* kompt, würdt es nüblich, auch vielleicht wegen der nachpawrschafft, weich sein, vnd regelin geben. Dan *Venus* von *Sextili Saturni* ab, vnd zum *Sextili Iovis* laufft, den sie den 26. erreicht, vnd würdt ditz für ein *apertionem portarum* gehalten.

Doch hoff Ich vom 23. biß fast zu end des Monats soll es ziemlich schön, aber mittelmässig kalt sein. Da nun an eim ort die *Infection* geregirt, würdt sie verhoffentlich zimlich nachlassen.

FEBRUARIUS.

Erst viertl den 8. vor mittag vmb 8. 36.
Volmond den 15. vor mittag vm 10. 25.
Letzt viertl den 22. vor tags vmb 2. 0.
Neumond den 29. nachts vmb 9. 48.

DEs Hornungs erste acht Tage haben trübes Melancholisches wind vnd regen wetter. Dan den 31. *Ianuarij* ist *trinus Martis & Veneris,* den 1. *Februarij coitus Solis & Mercurij:* gleich wol *Mercurius* zimlich auß dem weg stehet: laufft aber doch von der Sonnen ab, vnd zum *Sextili Saturni,* vnd den 4. 5. zum *Sextili Iovis,* wie auch die Sonne den 2. zum *Sextili Saturni,* vnd den 6. [S. 17] zum *Sextili Iovis, Venus* aber vmb den 1. zum *quintili Saturni,* den 6. zum *quintili Iovis* laufft. ditz ist ein dreifache *apertio portarum:* So laufft *Mercurius* den 8. vnd 9. zum *quintili Saturni* vnd *triangulo Martis.* Soll es in eim Land dise acht Tag schön pleiben, müste die Erde wunderlich *disponirt* sein. Doch mag es an statt des regens auch schne geben, nach dem sich der Winter in gemein anlasset.

Ob nun wol ein tag etlich hernach zimlich still, vnd noch etwas frisch, so folgt doch bald den 13. 14. ein *trinus Solis & Martis. sesquadrus Veneris & Martis,* den 15. ein *quintilis Solis & Saturni,* den 16. ein *quintilis Mercurij & Iovis,* zumahl ein *quadratus Saturni & Veneris,* den 17. ein *sesquadrus Martis & Mercurij,* wölliche vermischungen mit hülff der zusamennahung *Veneris* vnd *Mer-*

curij in einem Zeichen, abermahl ein trüb nüblich schne vnd regenwetter vnd bösen weg verursachen wöllen.

Würt es hierzwischen ein par tag recht schön sein, so ist es vil, dan den 19. 20. laufft *Mercurius* durch *quadratum Saturni,* vnd kompt den 24. zum *quadrato Iovis,* wie auch den 23. *Venus* zum *quadrato Iovis* kompt, die Sonne aber zum *quintili Iovis* den 21, vnd *Venus* den 22, *Mercurius* den 23, baide zum *biquintili Martis,* gar nahe bey einander, würdt also vom 19. in 23. wind vnd regen vollauff sein.

Ob vnd wan die *conjunctio Veneris* vnd *Mercurij* völlig sein werde, ist wegen noch mangelhaffter rechnung vngewiß, aber gewiß, daß sie wüchtig, sonderlich, weil baide auff einer seitten lauffen, vnd sofer sie volkommen würdt, das end *Februarij* oder den anfang *Martij* mit windigem vngestümmem regenwetter sehr verunrhüwigen werde.

Wan aber dise *conjunctio* (wie dan vnlautter) nit geschähe, so möcht ich nach *Matthiæ* widerumb einen tag oder acht still vnd zimlich frisch setzen. Ist zuvermuethen, der huesten vnd flüsse werde disen Monat die Leuthe hefftig plagen, auch da sonsten die *Infection* bißhero gebliben wäre, widerum vbel hausen.

MARTIUS.

Erst viertl den 9. Frue vmb 12. 39. [S. 18]
Volmond den 15. Nachmittag vm 7. 50.
Letzt viertl den 22. Nachmittag vm 1. 47.
Newmond den 30. Nachmittag vm 3. 23.

EIngang der Sonnen in den ersten puncten des Widers, oder anfang des Frülings geschicht den 20. *Martij* morgens vmb auffgang der Sonnen, wan Fisch vnd Wider in *Horoscopo* stehen: wölliche Kalenderschreiber aber noch auff der alten Leiren ligen, vnd sollichen anfang umb 15. stund später, die Waag aber vnd *Scorpion* in aufgang setzen, die werden hierdurch jre vnachtsambkheit entdecken: sintemahl Hern *Tychonis Brahe* verpesserte Rechnung jnen schon ein Jahr lang für der Nasen vnd in allen Buechläden zu finden ist. Ob auch si auß kindischem vnverstand noch nit wusten, ob sie mehr der alten oder Newen rechnung trawen solten: Die mögen sich zu versicheren, alle baide *Figuren* zusamen nemen, vnd dahero, ob sie wollen, gleich alle siben Planeten zu Jahrs regenten machen (dan Ich jrer ohne das schon vier auff einer Practica gesehen) die würden es auch, meiner meinung nach, mit der *Gubernation* am besten treffen.

Den eingang *Martij* mueß Ich wegen vorangezogener vnlautterer *conjunction Veneris* vnd *Mercurij* im zweiffel lassen. Sonsten möchte *sesquadrus Martis & Solis* für sich allein, weil zumahl auch *Mars* seinen stillstand helt, ein wenig Regelin auftreiben, hernach außhaittern. Den 4. 5. bringt *quadratus Solis & Saturni* kalt vnd trüeb wetter, mit regen oder schne, nach glegenheit der vorhergangenen täge.

Hernach ein tag etlich zimlich wetter, weil darzwischen nichts, dan allein den 9. 10. ein *biquintilis Martis & Solis* fürfalt, vnd etwa ein nüblich wetter mit ein wenig regen, aber mehr schön vnd noch zimlich kalt machet.

Den 12. ist wegen *quadrati Solis & Iovis, trini Saturni & Veneris* regen fürhanden, darmit der schne vnd Eis, so dessen noch etwas fürhanden, mehrertheils abgetrieben, vnd die Erden zu künfftigem Lentzenwetter beraittet würdt. [S. 19] Dan ein tag oder acht guet wetter folget, nur allein den 15. möcht *statio Mercur* wind vnd ein regelin erwecken.

Den 20. 21. falt *trinus Iovis & Veneris,* vnd laufft *Venus* von *Iovis trino* den 22. dem *opposito Martis* zue: doch weil *Mars* weit von der strassen, gibt es ein vnvolkommenen *aspect,* gleichwol würdt es vnstät, vnd villeicht Donner vnd platzregen geben, mit vndermischeten schönen tägen. Den 24. 25. bey *conjuctione Solis & Mercurij, sesquadro Saturni & Veneris* wider regen: von da an schön, vnd den 27. 28. bey *Sextili Iovis & Martis* sturmwind vnd gewitter, vermischt von Donner, schne vnd regen, wie es zu diser Jahrszeit pflegt: fürauß guet.

Vnd weil der Mertz zimlich trucken, ist ditz die erste hoffnung zu einem guetten fruchtbarn Jahr, wölliches ohne das nach etlicher meinung auff die *Conjunctionem Saturni & Iovis* zu folgen pfleget.

APRILIS.

Erst viertl den 7. Mittags vm 12. 40.
Volmond den 14. frue vmb 4. 13.
Letzt viertl den 21. frue vmb 3. 32.
Newmond den 29. vormittag vmb 7.36. Ein grosse Sonnen Finsternus vnder der Erden in *India, Arabia, Africa.*

DEr anfang *Aprilis* hat Regen, weil *Venus in sesquadro Iovis, biquintili Saturni* stehet, drauff ein tag oder zwen schön. Den vierten ist die Sonne im *trino Saturni, Mercurius* aber verwendet seinen lauff im *quadrato Iovis,* weil dan auch der gegenstand *Martis* vnd *Solis* herzue nahet, würdt es den 4. sehr vngestümmen Wind vnd regen geben, hernach warm vnd wegen viler hitziger

kranckheiten etwas gefährlich, dan auff den 7. 8. laufft die Sonne *Marti* entgegen, doch stehet *Mars* zimlich weit gegen Norden, das Ich mich also keins sondern grossen allarmens in der Lufft versehe, sondern verhoffe, es soll mit einem Donner abgehen, vnd vor vnd nach warm sein, mit zimlich klarem wetter: weil es nit mehr dan den 9. ein *biquintilem Veneris* vnd *Iovis*, gibt, hernach aber die Sonne vmb den volmond zum *trino Iovis* gehet. Vom 14. [S. 20] bringen mich baide *Planeten Venus* vnd *Mercurius* mit jrem vnvolkommenen *Sextil* abermahl in zweiffel: doch vermuthe ich, es werd von ermeltem *termin* an, ein tag etlich widerum kalt vnd recht Aprilnwetter sein, darzue der *trinus Iovis & Solis*, *biquintilis Veneris & Martis* auff den 14. mit trübem regen einen anfang machen, der ernente *Sextilis Veneris* vnd *Mercurij* aber mit rhawem stättigem wind die folgende tag *continuiren*, vnd *sesquadrus Solis & Saturni* den 18. *sesquadrus Veneris & Martis* den 19. drunter regnen sollen: biß itzo den 20. 21. 22. der *Sextilis Saturni & Martis* herzue kompt, wöllicher zum wenigsten, vnd wan es gnädig abgehet, nüblich Melancholisches regenwetter, aber besorglich kalten wind vnd frost mit bringt. Vnd würdt seine würckhung vmb so vil desto länger, vnd die folgende Zeit auff die ernente täge zimlich vorher zu erkennen sein, weil *Mars* sehr langsam, vnd sampt *Saturno* zu ruckh weichet, dahero die *Superatio diurna* nur 19. *minuta* macht. Vnd ist auff dise tage achtung zu geben, wie sie sich anlassen, dan baide Planeten weichen im Majen nit weit von einander, im *Iunio* aber treffen sie wider ein. Ich halt der April werd also vollend mit bösem wetter beschliessen. Dan ob schon ein tag oder etlich vmb *Georgij* schön pliben, so ist doch den 26. ein *oppositio Martis & Mercurij*, den 27. ein *trinus Saturni & Mercurij*, *biquintilis Saturni & Solis*, vnd den 28. *sesquadrus Iovis & Solis* mit gewissem wind vnd regenwetter für handen, dem auch *trinus Veneris & Martis* den 29. vnder die arm greifft: wie dan zu eingang *Maji* noch mehrere andeuttungen folgen werden.

MAJUS.

Erst viertl den 6. Nachts vmb 9. 9.
Volmond den 13. mittags vmb 12. 25.
Letzt viertl den 20. nachmittag vmb 7. 7.
Neumond den 28. nachts vmb 9. 38.

DEn 1. 2. *Maji* bringt *oppositio Saturni & Veneris* noch Nebel vnd küelen regen. [S. 21] Drauff warm, vnd den 3. bei *trino Iovis & Mercurij* vnstet windig. Es fallt aber gleich zumahl ein *quintilis Martis & Iovis* ein, wöllicher bey nahe vier wochen lang weeret, dan *Iupiter* zu rugk gehet, vnd *Mars* jme nach, zu seinem

stillstand eilet. Durch dise langwürige *configuration* würdt der May biß auff den 24. maisten theils hitzig vnd schön zu hoffen sein, doch mit zimlicher befeuchtung. Dan auff den 5. ist ein *biquintilis Martis & Solis*, *sesquadrus Saturni & Mercurij*, vnd den 6. ein *biquintilis Iovi & Solis*: bringen hitzig vnd vnstet wetter mit Donner. Gleichsfals den 9. vnd 10. laufft *Mercurius* vom *biquintili Saturni* zum *sesquadro Iovis*, da es auch netzen wirdt, vnd widerumb den 14. 15. vnd 16. laufft *Mercurius* von *Martis* zu *Iovis biquintili*, die Sonne aber zum *sesquadro Martis*, bringt wind, Donner vnd platzregen: also auch den 19. *Mercurius in sesquadro Martis*, vmb wölliche Zeit *Mars* seinen stillstand verrichtet: Derohalben der *quintilis Iovis* mit jme desto stercker sein, vnd diejenige *constitution*, die er findet, *confirmirn* würt, dan er auch nit weit vom *sextili Saturni* gehet. Den 23. vnd 24. befürcht Ich mich nach grosser hitze eins zornigen vngewitters, mit sturmwind vnd gewässer, weil *Venus in quadrato Martis*, vnd *Mercurius* bey des Stiers aug, zu der Sonnen stosset, auch von deren fast berührt oder bedeckt würdt. In dergleichen gefahr wir einen tag vierzehen nach einander stehen werden: doch mehr an gebürgigen orten, vnd wan auch die gantze Jahrs *qualitet* zur feuchte geneigt sein würdt. Dan ich in meinem Lateinischen tractätl nit ohne merckliche vrsach gemeldet, das noch eine verborgene vrsach sey, wölliche nit nur von eim tag zum andern, wie die *aspecte*, sondern vil mehr von eim gantzen Jahr zum andern den Erdboden an vnderschidlichen örten zur feucht oder dürre *disponire*, dessen die baursleuthe vnd vleissige Haußwürthe etliche vnfehlbarliche merckzeichen lang vorher haben. Derohalben diß mein *Iudicium* nach des Jahrs *general disposition* zuverstehen ist.

Den 28. 29. 30. *Maji*, ist abermahl ein starcke *Apertio portarum cœli*. [S. 22] Dan *Mercurius* vom *trino Martis* zum *opposito Saturni*, vnd *Venus in biquintili Saturni* laufft, wölliches *trinus Solis* vnd *Martis* beschliesset, würdt auch ein starck Donner vnd regenwetter geben, mit vnderlauffenden etlichen schönen vnd hitzigen tägen.

JUNIUS.

Erst viertl den 5. früe vmb 3. 21.
Vollmond den 11. nachts vmb 9. 23.
Letzt viertl den 19. mittags vmb 12. 8.
Neumond den 27. vormittag vmb 9. 43.

Eingang des Sommers geschicht, wan die Sonne in Krebs gehet, den 21. *Iunij*. Nachmittag vmb 2. vhr

ZV eingang *Iunij* regirt ein dampffechter *sextilis Saturni* vnd *Martis,* wöllicher lang weeret, dan *Mars* von seim stillstand abtrittet, vnd sich langsam wider in sein lauff richtet. Bringt ein harte Zeit, etwa nübliche außdörrende hitz, etwa langwürig trüffend wetter, etwa auch schädliche rhawe lüffte, nach dem das gantze Jahr sich anlasset. Den ersten vnd andern ist ein starck wetter, sturmwind vnd regen fürhanden, dan die Sonn zum gegenschein *Saturni,* vnd *Mercurius* zum gegenschein *Iovis* gelanget.

In gleichem vom 5. zuverstehen, alda der *Sextilis Saturni* vnd *Martis* volkommen würdt.

Den 6. ist *Venus in biquintili Iovis, sesquadro Saturni,* hülfft zu trüebem wetter. Hernach halt ich disen Monat für schön heiß, vnd den 9. 10. bey dem gegenschein *Iovis* vnd der Sonnen, *quintili Veneris & Martis* Donner. Den 13. würt *sesquadrus Veneris & Iovis* auch ein wenig sprentzen: vnd *quadratus Martis & Mercurij* den vierzehenden hernach starck wittern.

Den 17. mag *Mercurius in quintili Saturni* ein gewülck bringen, *Venus* aber *in trino Saturni* den 19. völligen regen. Widerum den 22. ist *Mercurius in biquintili Iovis & sesquadro Saturni,* würt auch zu donner *disponirn*: Folgende tag erwarte ich gar hitzig, vnd drauff den 25. 26. ein hefftige *commotion,* windsbraut, vnd zorniges wetter, weil *Mars in sextilem Iovis,* vnd *Venus* zwischen [S. 23] baider *Aspect* einlauffet. Füurauß wider schön vnd heiß, vnd etwa den 29. ein Donner bey *sesquadro Mercurij & Iovis.*

Ist also die weinblüe noch bey mir in einem guetten *prædicamento.*

JULIUS.

Erst viertl den 4. vormittag vmb 8. 23.
Volmond den 11. vormittag vmb 7. 36.
Letzt viertl den 19. vormittag vmb 5. 47.
Neumond den 26. nachmittag vmb 6. 25.

DIser Monat hatt auch ein schönen heissen vnd den früchten bequemlichen anfang, biß auff den 6. da *Mercurius in trino, Sol in biquintili Saturni* regen verursachen: der dann den 10. noch stercker, da *Mercurius in trino Saturni* seinen lauff ändert. Widerumb schön heiß, vnd den 14. schwülig bey *biquintili Solis & Iovis,* den 15. regen bey *sesquadro Solis & Saturni,* diß noch mehr den 16. bey *quadrato Saturni & Veneris.* Hernach schön vnd schwülig. Aber vom 21. in 24. sehr vnrhuewig, vil wetter platzregen vnd gewässer: Dan Sonn vnd *Mercurius* zusamen, vnd baide zum *quadrato Martis* vnd *sesquadro Iovis* stossen, wie auch *Venus* zum *quadrato Iovis* laufft. Zu besorgen die liebe

früchten werden an manichem ort durch Hagel, gewässer vnd nässe schaden nemen. Vnd ob wol ein tag etlich hernach guette ruhe fürn *aspecten*, die früchten einzusamln sehr gelegen, so nähert sich doch abermahl der noch sehr jrrige *Mercurius* zum *Sextili Veneris*, drumb es vermuethlich gegen dem end *Julij* küle lüffte, vnd den 30. bei *trino Solis & Saturni* vil regen geben würt.

AUGUSTUS.

Erst viertl den 2. nachmittag vmb 1. 29.
Volmond den 9. nachmittag vmb 7. 57.
Letzt viertl den 17. nachts vmb 10. 47.
Neumond den 25. frue vmb 4. 44.
Erst viertl den 31. nachmittag vmb 7. 59.

[S. 24] DIser Monat sol wegen des *Sextilis Veneris* vnd *Mercurij* vber die helfft küel vnd regenig sein: Da dan Ich in betrachtung, daß *Saturnus* vnd *Iupiter* sich auff 6. grad weit zusamen stellen, auch wegen der rhuer vnd *Infection* in sorgen stehe, sonderlich wa etwa der vorhergehende Früling auß seinem *temperament* geschritten. Die vier erste tag bedarffs nit vil bedenckens, *Mercurius* wendet sich in *Sextili Veneris, biquintili Iovis, sesquadro Saturni*, vnd *Venus* stösset zum *quintili Saturni*, vnd betrübt die Lufft hefftig. Solte ein tag acht hernach schön sein, so förcht ich *Iupiter in trino Solis* werd den 6. 7. das gefülte häfelin auch rütteln. Wan es aber schon schön pleibt, würdt doch den 11. 12. *Mercurius in sesquadro Iovis, Venus in ejus quintili* das gewülck wider bringen. Von da an sich auff kein schön wetter zu verlassen, wegen des *Sextilis Veneris* vnd *Mercurij*, dan auch *Saturni* vnd *Mercurij trigonus* auff den 17. herbey kompt, vnd bald darnach den 20. ein *Sextil Saturni* vnd *Veneris*, wölliche regen bringen. So stehet es nit länger an, dan biß auff den 23. daß *Mercurius in trinum Iovis* einlauffet: der für sich selbsten wol ein sturmwind vnd Donner brächte, wans gleich an andern mangelte. Hie wil Ich dem vnstetten wetter ein wenig ein zil setzen, vnd glauben es werd hernach schön, vnd wider warm werden, da dan den 25. 26. *quadratus Martis & Mercurij* Donner vnd platzregen verhaisset, drauff schön biß zu end. Dan den 31. *quadratus Solis & Saturni* auch ein regen versprechen wil.

SEPTEMBER.

Vollmond den 8. vormittag vmb 10. 23.
Erst viertl den 16. nachmittag vmb 2. 30.
Neumond den 23. nachmittag vmb 1. 18.
Letzt viertl den 30. vormittag vmb 5. 2.

Herbst tritt ein die 22. vmb den folgende mitternacht.

BIßhero ist für den Weinwachs nit sehr guette bedeuttung im *Augusto* gewest, wünschete daß sie jetzo im *September* besser wäre, darzue es sich die erste täge wol anlassen mag. Aber bald vom 5. in 12. gibt es sehr vngestümmes [S. 25] gewitter: innerhalb diser tagen *Venus* jren lauff endert, in *Sextili Iovis.* Dan als sie im verschinen *Martio* des 1603. solliches im *quadrato Saturni* verrichtet, vnd ich in meim *Prognostico* dahin gangen, weil sollicher *Aspect* fast einen Monat weere, werd es stättiges trüeffend vnd finster wetter geben: ists zwar theils geschehen, vnd einerley wetter geplieben: aber nach art des Jahrs (wölliches durchaus bey vns gesund vnd trucken gewest) nit regenwetter, sonder schön, vnd in disem Monat vnnatürlich warm: Hat einen druckenen rauch aus der erden herfür gebracht, dardurch die Sonne im auff- vnd nidergang roth geschinen, vnd in wöllichen auff dem Boden schwebenden rauch die Sonnenwärm sich gelegt.

Weil nun disen Monat *Iupiter* an *Saturni* statt, *Veneri* zu hülff kompt, solt diser aspect für sich selbst schön vnd heiß, nämlich ein subtiles windlein, mit vndergesprengten regelin erwecken, aber weil er nit allein, sondern diser Zeit ein starcke *apertio portarum* geschicht (dan *Mercurius* den 5. von *quadrato Saturni* ab, vnd den 10. zu *quadrato Iovis,* den 12. aber zur Sonnen kompt: auch *Mars* den 9. *Solem,* den 11. *Mercurium* mit ein *quintili* begrüsset: vber daß auch die Sonn den 8. zum *quadrato Iovis* kompt:) so werden demnach alle samptlich zu nichts als nebel vnd regen verhelffen.

Nach dem 12. gibt es wider schöne täge, vnd etwa den 17. 19. regelin, da *Mercurius* von *quintili Saturni* zum *quintili Iovis,* und die Sonne zum *quintili Saturni* laufft. Damit aber das guet wetter nit zu lang weere, so nähern sich zwo *conjunctiones,* eine *Saturni* vnd *Martis* den 25. die andere *Veneris* vnd *Mercurij* den 24. eine so guet als die andere, vnd laufft *Mercurius* den 22. 23., *Venus* den 25. 26. durch baider *sextiles.* Ditz ist ein rechter nachdruck von der im *December* geschehenen grossen *Conjunction Saturni* vnd *Iovis*: bringt nebelich, faul, vnd nach art des Jahrs stättigs regenwetter. Dan ob schon baide *conjunctiones* vnkräfftig würden, weil *Venus* vnd *Mars* tüeff gegen mittag, *Saturnus* aber vnd *Mercurius* hoch gegen Norden lauffen (in massen dan Anno 1603. im *Februario* erschinen) so kan es doch mit dem vilfältigen *sextilibus* [S. 26] nit fählen.

Die *Medici* wöllen dise Zeit wol in acht nemen, ob es nit an orten, wa sonsten die *infection* eingegriffen, jetzo trüb abkehren, vnd vil mehr *patienten* geben werde, dan vor vnd nach.

Wil mich vom 27. an widerumb etwas bessern wetters versehen, doch den 28. bey *sextili Iovis & Mercurij, quintili Solis & Iovis* nit ohne windsbraut.

OCTOBER.

Vollmond den 8. frue vmb 3. 7.
Letzt viertl den 16. frue vmb 4. 20.
Neumond den 22. nachts vmb 10. 0.
Letzt viertl den 29. nachmittag vmb 5. 53.

WAn der Wein verzug leiden möchte, verhofft ich disem Monat wider guet wetter. Mit eingang des Monats laufft *Venus* vnder der Sonnen hin, doch weit gegen mittag; der 2. 3. bringt regen bey *Sextili Solis & Saturni, quintili Iovis & Veneris,* vnd heiß wetter, dan *Venus* den 5. auch zu *Martis quintili* kompt, vnd ein nebel oder regelin verursacht. Den achten stösset *Mars* zu *Iove,* der möcht noch Donner bringen, vnangesehen sie gegen Sud und Norden einander verfehlen.

Den 13. möcht *Sextilis Iovis & Solis* regen, aber vor vnd nach schön bringen.

Hernach volgen zwen langsame *Aspect, Sextilis Solis & Martis,* vnd *quintilis Veneris stationariæ & Saturni,* die sollen warm, vnd den 21. 22. regen bringen. Vom 25. *Octobris* biß in 23. *Decembris,* laufft *Venus in quadrato Martis* zwen Monat lang, dan sie im mitteln, den 18. *Novembris* kaum 6. grad darvon abgewichen. Weil dan im *Martio* des 1603. Jahrs die würckung dises *Aspects* scheinparlich gewest, ist jetzo im *October* auff jne acht zu haben, vnd gegen der witterung im folgenden *December* zuhalten. Für sich selbst verhofft Ich von jme den 15. einen regen oder kalte lufft; fürauß schön.

[S. 27]

NOVEMBER.

Volmond den 6. nachts vmb 9. 19.
Letzt viertl den 14. nachmittag vmb 4. 21.
Neumond den 21. vormittag vmb 7. 56.
Erst viertl den 28. vormittag vmb 10. 47.

DIser Monat soll vber das halbe theil schön vnd trucken sein, mit natürlicher linderung, allein den 3. oder 4 da *Mercurius* sich vmbdräet, wind vnd regen, wie auch den 15. bey *conjunctione Solis & Mercurij.* Gegen dem Newen den 20. 21. 22. gibt es scharffen wind, bey *sextili Martis & Mercurij,* der würt vermuethlich gefrör bringen, vnd dan *sextilis Saturni & Veneris, quintilis*

Iovis & Veneris drunter regnen, oder schneien, daß auch den 24. 25. bey *Mercurij* stilstand zugewarten. Hernach wider schön vnd natürliche kelt.

DECEMBER.

Volmond den 6. nachmittag vmb 3. 44.
Letzt viertl den 14. frue vmb 2. 50.
Neumond den 20. nachts vmb 7. 43.
Erst viertl den 28. frue vmb 7. 20.

Sonn im Steinbock oder eingang des wintertheils den 21. *Decembris* mittag vmb 11.

DEr *December* ist gleichsfals mehrertheils schön kalt vnd trucken, vnd zuverhoffen, wa etwa im *Augusto September* vnd *October* böse kranckheiten geregiert, die sollen disen letzten theil des Jahrs gestillet werden vnd nachlassen. Den 9. vnd 10 kompt ein *sextil Iovis & Veneris,* auch *conjunctio Solis & Saturni,* die sollen ein schne bringen: hernach wegen des herzue nahenden *quadrati Martis & Veneris,* verseh ich mich scharffer stättiger wind vnd starcker kelt: Die möcht gegen den Weihenachtfeirtägen, auff vorgehende nächtliche *chasmata* in ein trüb lind schne oder gar regenwetter verwandelt werden, weil den 22 *quadratus Veneris & Martis, sextilis Martis & Mercurij,* den 23. *conjunctio Saturni & Mercurij* fallet, das dan ein *apertio portarum* ist: wider ein tag zwen schön vnd sehr kalt, vnd den 26. 27 bey *conjunctione Solis & Iovis, Sextili Saturni & Mercurij* schne: füraus kalt.

Von Weltlichen sachen.

WAs von der grossen *Conjunction Saturni* vnd *Iovis,* die in *December* des 1603. Jahrs eintrifft, disen puncten betreffend zu halten, hab Ich vor eim Jahr gnuegsam vermeldet, vnd würdt solliche *Conjunctio* gleich mit eingang ditz 1604. Jahrs starck gerhüret, von den *sextilibus Martis:* wölliches verhoffentlich [S. 28] zu der Christenheit nutzen gedeien solle.

Den 20. *Ianuarij* sicht es einem straiff vnd *stratagemati* gleich, sonder zweiffel auff den Gränitzen: aber zu anfang *Februarij* auch bey andern jetz kriegenden partheien: Da es dan biß in *Martium* das ansehen hat, als wölte das jetzige glück einmahl abwechseln.

Wöllen auch der *opposition Solis & Martis* nit vergessen den 8. *Aprilis,* dan solliche gmeinglich von *Astrologis* auff abgang eins fürnemen Kriegs Obristen

oder Fürstlichen Person gedeuttet würdt, in Ländern, wölliche nach etlicher meinung vnder Wider vnd Waag gelegen, sonderlich was Mertzenkinder seind. Mars pleibt vom 9. *December* ditz 1603. Jahr in der Waag, biß in 24. *Iulij* des 1604. verrichtet seine *stationes* 1. *Martij* vnd 19. *Maji* das werden die jenige empfinden. Wölliche den 6. *Aprilis* 10. *Octob.* vnd 21. *Martij* 23. *Septem:* geboren seind.

Ein zimliche vnruhe fündet sich zu end des Mejen vnd eingang *Iunij,* gleich an dem ort, da für 12. Jahren ein gegenschein *Iovis* vnd *Martis* gewest: da zuvermuethen, was damahlen angespunnen, daran werde auch für ditzmahl gehaspelt werden, wiewol wir jetzo besserer hoffnung seind.

Gegen *Iacobi* gelangen Sonn vnd *Mercurius* zum *quadrato Martis,* vnd verderben ein bekante *Revolution,* die werden sich mit vnrhue vnd gefahr im Kriegswesen gleich damahlen in gemein, aber das gantze Jahr hindurch bey derselben *privatim* zimlich melden.

Von *Bartholomæi* haben wir wegen gehaltenen scharmützels (zu bitten erlangten sigs) vermuetliche zeitung.

Die beste püffe aber (wie ohne das bißhero breüchig gewest) wil der Himmel seins theils den 22. 23. 27. *Sept:* 2. 10. 13. 22. *Octobris* außtheilen helffen. Wölliche Zeit die Haüpter in acht nemen, vnd ob sie sich ehe wider feindes gewalt gnuegsam versehen vermeinten, doch auch für *Confusion* vnd schrecken, oder aufrhuer gewarnet sein sollen.

Etwas weniges würt vns auch auff das letzte theil *Novembris,* verhoffentlich mit vnserm glück, auffgesparet.

Hiermit sey meniglichen ein glücklich freydenreich gesund New Jahr gewinschet.

FINIS.

PROGNOSTICUM METEOROLOGICUM,

Das ist:

Naturgemässe vermuthung/was die beschaffenheit deß Himmels-Gestirns über diese nidere Welt ungefährlich bedeute.

Auff das Jahr nach der Gnadenreichen Menschwerdung JEsu Christi unsers HERREN und Erlösers/Als die Occidentalische Kirch zehlen wirdt

M. DC. XXIV.

Auff den Meridianum gemeiner Grentzen zwischen dem Ertzhertzogthumm Oesterreich ob der Enß/ und dem Hertzogthumm Steir gestellt/und in Druck verfertiget/

Durch

Johann Kepplern/der Röm: Kay: May: und einer löbl: Landschafft in Oesterreich ob der Enß Mathematicum.

Cum privilegio Cæsareo.

Gedruckt durch Abraham Wagenmann.



Denen Hochwürdigen, Durchleuchtigen [S. 3]

Fürsten, Ehrwürdigen Geistlichen Herren, Hoch- vnd wolgebornen Graven vnd Herren, auch Edlen vnd Gestrengen Herren N. N. einer Ersamen Landschafft deß Hertzogthumbs Steir Herren Ständen, etc. Meinen gnädigen Herren.

HOchwürdig, Durchleuchtig Fürsten, Ehrwürdige Geistliche Herren, Hoch- vnd Wolgeborne Grafen vnd Herren, Edle Gestrenge etc. Gnädige Herren. E. H. F. Gn. vnnd Gn. sindt mein vnterthänige gehorsame Dienste bevor, vnd füg denselben mit Gnaden zuvernemen.

Demnach ich vor zweyen Jaren meiner vnvermeydenlichen *privat* notdurfft halben, etliche Monat lang im Reich zubringen müssen, darunter aber zu einer Räise nacher Franckfurt, vmb befürderung willen etlicher meiner Astronomischer [S. 4] Wercke, lufft bekommen, daß ich deroselben eines, *Mysterium Cosmographicum* genennet, auß dapfferen Vrsachen, vnter E. H. F. Gn. vnd Gn. Namen, vnd mit einer außführlichen *Dedication* an dieselbe, *de Dato* Franckfurt den 30. Junij An. 1621. in Druck gebracht, vnd in die Welt außgehen lassen.

Ob dann nun wol ich in gemelter *Dedication* mich vnter andern auch einer vergeblichen Sorgfältigkeit vermercken lassen, welche dahero vervrsachet worden, daß ich, als auß den Oesterreichischen Landen damalen abwesender, nicht wissen können, wessen zu der Kay: Majestät, vnserm allergnädigsten Herren, bey damaliger vnnd noch continuirlich dero obliegender Kriegslast, ich mich zuversehen habe: Sondern bald hernach jhre Kay: Majestät die Vrsachen zu dergleichen Gedancken vnd Anzügen mir entnommen, in dem Sie, nach dem Exempel dero Lobwürdigster Vorfahren am Reich, Herrn Rudolphi, vnd Herrn Matthiæ, beyder gewesener Römischer Kaysern, mich vnwürdigen, [S. 5] anderwärtz zu dero Hof *Mathematico, de die successionis*, allergnädigst auffgenommen.

Dieweil aber jedoch die ermelte *Dedication* einmal vnter den Kunstliebenden Lesern in *Europa* herumb gegangen: Als hab ichs nit für zimmlich befinden können, dieselbige bey E. H. F. Gn. vnd Gn. allerdings vnangemeldeter versitzen zulassen. Hab derohalben mich von Franckfurt hero vmb ein anzahl *Exemplarien* beworben, dieselbige auff jüngsten, mit angehendem 1623. Jar gehaltenem LandTag (weil ich dieselbige herunder nicht zur Hand bringen mögen) nacher Grätz geschickt, in meynung E. H. F. Gn. vnd Gn. bey noch werender versammlung, solche in vnterthänigkeit zu *præsentiren,* welches auch durch meine Erbetene, bey etlichen deß Landes Mitgliedern. *privatim* (weil der LandTag sich allbereit geendet gehabt) geschehen.

Wie gern ich nun das jenige, was hiermit bey einer gantzen versamm-[S. 6] lung, etlicher massen verabsaumet, gegen jedem Stand insonderheit mit zustellung eines Exemplars hereinbrächte: So hab ich doch hingegen zuerwegen, daß eine solche weitläufftigkeit, vnnd an jhr selbst schwere *Spesa,* sonderlich bey jetziger zerrüttligkeit aller Handlungen über Land, vieleicht bey vielen vnvonnöthen sein möchte; Angesehen die Astronomische Künsten, der schweren Kopffarbeit halben, auch an denen Orten, da man dem Studieren inn gemein obliegt, mehr inn dem Buchstand, dann auff dem Pultbret zufinden. Dessen inn betrachtung, hab ich mir gefallen lassen, durch fernnere vnterthänige *Dedication* dieses kleinen Teutschen Wercleins, vnd *Prognostici,* nit allein die obeingeführte zu der gesampten H. Stände Ehren gemeynte vnnd gereichende *Dedication* etwas mehr bey männiglichen zu *intimiren* (mich hiermit auff deroselben mehrem innhalt *referirend*) sondern auch, denen Herren vnd Landleuten, welche zu so scharffem nachsinnen nicht lust oder zeit haben, mit diesem [S. 7] kleinen, ins gemein mehr annemlichen Früchtlein der höhern vnnd subtilern *speculationum* auch jhren *contento* zumachen vnd zudienen. Welch mein beginnen vmb so viel desto weniger frembd sein wirdt, weil vor 24. vnd mehr Jaren, damalen ich mich in einer Er: Land in Steir Diensten befunden, diß auch ein theil meines Beruffs gewest; Auch von derselben zeit hero, vnnd sonderlich, nach dem ich hieaussen, auß verbesserter Astronomischer Rechnung wider angefangen zu *Prognosticieren,* bey den Buchführern im Lande Steir, wie ich berichtet werde, viel nachfragens nach meinen *Calendarijs* vnnd *Prognosticis* gehabt wirdt.

Gelanget hierauff an E. H. F. Gn. vnnd Gn. mein vnterthänig bitten, die wöllen neben dem obvermelten Werck *Mysterij Cosmographici,* auch diß ringschätzig *Calendarium* vnd *Prognosticum* von mir an statt einer schuldigen Danckbarkeit für die mir für so vielen Jaren erwiesene Guttbaten, vnd zu einer [S. 8] Neuen Jars Gab oder *strena.* zu Gnaden an vnd auffnemen, denen ich hiermit

ein freudenreich, gesund vnd fruchtbar Neu Jahr, sampt abwendung alles Vnglücks, schröcklicher Empörungen, Feindsgefahr, verheerung vnnd Blutvergiessung, von GOTT dem Allmächtigen innbrünstiglich gewünschet haben will, E. Hochw. Fürst. Gn. vnd Gn. mich gehorsamlich empfehlend. Datum Lintz den 14. Octobr. deß 1623. Jars.

E. E. Hochw. Fürst. G. G. vnd G. G.

Vnterthäniger gehorsamer

Johann Keppler *Mathematicus.*

[S. 9]

Prognosticum oder Naturgemässe,

Vermuthung von Beschaffenheit deß
Jahrs Christi
M. DC. XXIV.

Winter Theil.

DEr anfang zu diesem Prognostico ist gemacht in dem Prognostico über das ablauffende 1623 Jahr. Dann auff desselben 22 Decembris vor Tags vmb 1 vhr 32 minuten in vnserem *Meridiano* erreicht die Sonne den nidersten Puncten jhres gantzen vmbkreyses, oder trittet eine Steinbock, als deß Tags zuvor neuer Mond worden, der 17 grad der Wag im Auffgang, Saturnus ober der Erden, im zehenden, Jupiter im 11 Hauß: ☿ bey *Venere* nahend dem *Trigono Saturni* vnd *Quadrato Martis* vnd dieser nahend dem *Quincunci Saturni.*

Was ich nun damals für ein *judicium* gefellet, dabey muß ichs auch dißmals bewenden lassen; daß es nemlich kalte vnd truckene Zeit sein werde; mit außgang deß Monats Schnee oder gar Regen.

Jenner *Anno* 1624.

WEil zu Eingang dieses Jahrs ♀ jhren stillstandt helt in *semisexto Solis,* also will nun ein trüber Melancholischer Eingang zugewarten seyn; vnd wird das böse Wetter etlich Täge anhalten, wegen der gedoppelten verbindung ♄♂ vnd der ☉, im Calender zufinden.

Das Wetter wird auch viel Husten vnd Flüsse verursachen, vnd wo sonsten die *Infection grassirt,* solche vermehren helffen.

[S. 10] Vom vierdten an hellet es auß vnd gefrieret wider zu, wegen der Winde, legt den 6 vnd 10 ein frischen Schnee, dem Samen sehr angenem. Wird also dieser Monat außdauren, vnd auff die im Calender gesetzte Täge zimlichen Schnee werffen. Hiermit auch die Lufft gereiniget vnd den Seuchen gesteuret wird.

Hornung.

DAß man sonderlicher Kälte gewärtig, wann ♄ der Sonnen entgegen lauffet, vnd sich zur Erden nahet, dessen wird in diesem Monat das Widerspiel erfolgen. Dann von Liechtmeß an wird das Wetter mit Macht brechen, vnd sich in eine ergenige vnd windige zeit verkehren, biß über die Helfft deß Monats. In den Nideren Landschafften will es gegen dem neuen Liecht allerdings sich zum Lentz schicken, vnd die Violen vnd Lerchen herfür locken.

Aber auff Faßnacht den 20 gibt es ein gedrittes, im Calender zusehen, da wird widerumb ein kalt Loch geöffnet, in Gebürgen legt es einen neuen Schnee, vnd wehet also den überigen Monat auß, daß er winterig genug wird.

Deß Schlags hat man sich vnter hohen vnd nidern Standts, Personen viel zu befahren: Mit bekanntem vnterscheid, starcker Kopfarbeit, schwerer Sorgen, oder überiger Trüncke.

Mertz.

WIe es der Februarius gelassen, also setzet der Martius das Wetter fort, doch wegen der Sonnen auffsteigens, etwas wärmer. Vmb Mitfasten vnd auff *Lætare* gibt es schädliche Winde. Da möget jhr Alte wol euere Präxen anhencken, ich rathe euch aber, bleibet damit in der warmen Stuben. Wann hiermit der Himmel sich genugsam ergossen vnd der Eyßbruch völlig geschehen, wird es gähling anfahen heiß zu werden.

Früling.

EIntritt der Sonnen in den ersten Puncten deß Widers geschicht allhie den 20 Martij vor Tags vmb zwey vhr, vier minuten, nit gar einen Tag nach dem [S. 11] neuen Liecht: Wann der 2. grad deß Steinbocks im Auffgang, Sonn vnd Mond im dritten Hauß, ♀ vnd ☿ im andern, ♂ im vierdten zu vnterst, allein ♄ vnd ♃ ob der Erden im achten.

Weil dann ♂ nach der *Astrologorum* brauch *Dominus Anni* wird, Er selber aber *in detrimento suo* stehet, also schöpffen die *Astrologi* hierauß jhr *general* vrtheil, darumben sie selber in grosser anzahl zuvernemen seynd, wer nur zeit genug hierzu hat.

Ich bleib bey meiner alten Erklärung vor 24 Jahren beschehen, daß es nit grund in der Natur habe, daß man dem Jahr als gleichsam einem neugebornen Menschen auff diesen puncten deß eintritts der Sonnen in den Wider eine *Nativitet* stellen, vnd auß derselben deß gantzen Jahrs *Qualiteten* erlernen könde, Sondern es heisset bey mir, *Sufficit cuilibet diei constellatio sua.* Die

erfahrung, deren die *Astrologi* sich zurühmen pflegen, die muß nicht blind, nit auff hör ich sagen gestellet seyn, sondern sie muß die Augen der Vernunfft haben, so wol als in *Medicina*. Wann diß, wie billich, zugegeben wird: So hab ich mich meiner dreyssig jährigen eygnen Erfahrung billicher vnd sicherer zu rühmen, als der gantze helle hauff aller *Astrologorum* sich jhrer vielmal hundert tausend jährigen Erfahrung beym *Cicerone* zu rühmen gehabt. Was aber vnd wieviel auß dieser Erfahrung zu nemen, wird fast aller Orten von mir gemeldet. Vnd so es etwa vnterlassen wird, geschicht es nur zu verhütung verdrießlicher *Tautologiæ*. Die summa ist, daß deß Monds liecht mit seinem ab vnd zunemen regiere die feuchtigkeit aller dinge, welche jhr gewisse *formam* vnd gleichsam ein Leben haben, so daß sie durch jhre eygne thätigkeit nit allein dieses wachsens empfinden, sondern auch sich selber darnach richten.

Ferrners daß die gantze Natur aller jrrdischen dingen der *Aspecten* aller Planeten vntereinander empfinde, vnd durch dieselbige *Aspecte* als gleichsam durch einen Stachel auffgemuntert vnd zu jhrem Werck angetrieben werde. Dieses ist es alles mit einander, der Himmel gibt allein den Antrieb, vnd gar [S. 12] nit die Materi. Die Wärme *primam qualitatem activam*, gibt fürnemlich die Sonne, wann sie steiget vnd hoch ist; fället sie vnd wird niderträchtig, so erkalten alle Materien vnd Feuchtigkeiten fein gemählich. Vnd wann dann hiermit die dämpffe so auß der Erden gehen, oben in der Lufft zu Schnee werden (darzu sie keines Planeten anderst nit bedörffen, dann nur jhrer *Aspecte* durch welche die Erdklüfften zum auffdämpffen angetrieben werden) so werden sonderlich die hohe Gebürge mit Schnee zugedeckt, vnd weil die Sonne schwach ist, so bleibt der Schnee; Allda hat nun *secunda activa qualitas*, Nemlich die Kälte jhren *sedem* vnd Brunquell einig vnd allein in *materia*, vnd gar nit im Saturno oder sonsten im Himmel. Dann so lang grosser Schnee in Gebürgen ligt, so lang ist es Winter an denen Orten, da der Schneewind bleset, sonderlich aber auff die Täge, an welchen, wegen deß antriebs der *Aspecte*, solche Winde blasen. In gleichem auch von vnterschiedlichen Landschafften zureden; so weit der Blick auß den Schneegebürgen reichet, so weit ist entweder gar kein Weingewächs, oder doch ein schwaches, saures gewächs.

Die dritte *qualitas passiva*, nemlich die Feuchtigkeit, ist die jrrdische Materi selber, vnd kommt im wenigisten nicht von *Jove* oder *Venere*, welche man für feuchte Planeten helt, vielweniger von der Sonnen, dann diß soll der truckneste seyn, vom Mond ist zuvor gered. Sie aber die Feuchte, ist das andere Theil von der Erdkugel, ist ein Werck deß ersten Tags der Schöpffung, nemlich alle Meerwasser. Auß diesem Meerwasser werden getrencket alle

Klüfften vnd Abgründe der Erdkugel, das ist das Wasser, das in die Kuchel rinnet. In diser Kuchel sitzet ein Koch der heisset *Natura sublunaris,* ich heiß jhne *Animam Terræ,* ich achte es sey eben der, welchen *Theophrastus Paracelsus Archêum* genennet. Dieser Koch ist zumal auch das Feuer oder die kochende Wärme, dergleichen in eines lebenden Thiers Hertzen vnd Leber ist. Wann diese Wärme nit were, wurde die Sonne mit aller jhrer Hitz, vns inwendig in der Erden nit vil kochen, der Mars vilweniger. Wann aber nun jetzo die Himmlische *Aspecte* auff gewisse Täge einfallen, so hat dieser Koch sein auffmercken auff dieselbige, als gleichsam auff sein Vhr, oder er empfindet [S. 13] derselben, *(sensione rationis participe, utpote rei ratione sola plenè perceptibilis)* als gleichsam eines Hungers; Derowegen er anfahet auffzuhaitzen. Wann diß geschicht, da gehet der warme Dunst über alle Berge auß, vnd wird zu Wasser, diß ist die Feuchtigkeit, vnd also kompt sie vom Himmel, vnd gar nit anderer gestalt.

Hie möchte jemand nitnur mir, sondern auch andern *Astrologis* welche die Sonne für trucken sprechen, fürwerffen, vnd sagen: Es verursachet ja die Sonne, vnd also der Himmel, daß es im Sommer grosse platzregen, vnd in der *Zona Torrida* in *Africa* vnd *Peru,* ein vierMonatliches vnauffhörliches Regenwetter gibt? Antwort. Es geschicht diß nit durch sein früchtende art, sondern durch sein erhitzende Krafft, die machet alle feuchte gehend, *extenuando,* daß sie außschwitzet, ist also dise Feuchtung vilmehr eine Außtrücknung, Er nimmt diese Feuchte nit von dem seinen, sondern zeucht sie so zureden, auß der Erden übersich, wann sie dann zu Wasser wird, fellt sie selber wider vntersich ohn sein zuthun.

Die vierdte *Qualitas,* auch *passiva* ist die Trückene, die wird vil weniger vom Himmel eingegossen als die Kälte: sondern sie wird vervrsachet, 1. durch die *Materi,* 2. durch mangel der *Materi,* 3. durch die Hitz, 4. vnd durch die Kälte. 1. Durch die *Materi* geschicht es also: Bißweilen kommen die Himmlische *Aspecte* dem Koch vnter der Erden zur vnzeit, treiben jhne an, wann es etwa nit recht in seiner Kuchel stehet, als ob man einen *febricitantem* schwitzen machen wolte, da er doch nit schwitzen, sondern nur hitzen kan. Alsdann greifft die Hitz an was sie findet, findet sie nit feuchte *Materi,* so greifft sie Schwefel vnd Salnitter an. Darauß wird nun nicht ein Dampff, sondern ein Rauch, das ist auch ein *Materi,* gibt aber nicht Regen, sondern Feuerzeichen, Item es werden etwa darauß nur außdorrende Winde, wie dann die Lufft selber, so auch eine *Materi* ist, alle dünne anklebende Feuchtigkeiten aufflecket, zu Lufft verkehret, vnd im wädeln mit sich davon führet. 2. Durch Mangel der Feuchte, das ist, wann es lang nicht regnet, verstehet es sich selb,

[S. 14] daß diß dürr vnd trucken Wetter heisse. Nun ist diß ein Ordinari, wann der Himmel nit antreibt, das ist, wann es keine *Aspecte* gibt, so regnet es weniger dann sonsten. Hie habt jhr nun, wie der Himmel trucken mache: nemlich nit anderst, dann wie ein Bettler mich arm machet, dieweil er nemlich mir nichts zugeben hat, davon ich reich würde. 3. Durch Hitz wird es trucken, weil alle Hitze die Feuchtigkeit verzehret: Vnd diß würcket die Sonne auff dem eussern Erdboden, so bald es auffhöret zu regnen. Darnebens aber, als erst angezeiget, machet sie diesen eussern Erdboden vnterweilen auch naß, auff ein andere zufällige weise, wann sie nemlich, sein inwendiges angreiffet, die Feuchte herauß schwitzen machet, wie einer vor einem Kachelofen zuschwitzen anfahet, der wird zwar von aussen erstlich naß, aber von jnnen trucken. 4. Durch die Kälte wird es trucken, wann es zugefrieret, da wird die Feuchte hart, vnd an jrer Eygenschafft gehindert, daß sie so lang nit netzen kan, biß sie wider auffgehet. Item die Gefrör zeucht mit der weil alle Feuchte auß dem Erdboden, daß er hernach, wann das Wetter auffgehet, bald zu eim lautern Staub wird.

Hierauß nun ist zusehen, wie weit sich vnsere Himmlische Erfahrung erstrecken möge, nemlich einig vnd allein auff den blossen Antrieb, dieser ist vom Himmel, Wie aber diser Himmlische Antrieb von einem Tag zu dem andern gerathen, vnd was er für Gewitter vervrsachen werde, das stehet jetzo natürlich darvon zureden, auff der innerlichen Beschaffenheit der Erdkugel, vnd auff desselben Vorrath an Feuchte oder Schwefelicher *Materia*. Da gibt es sehr schwache zweiffelhaffte Vermuhtungen, dann niemand ist noch nie erfunden worden, der an Tag gebracht hette, was es mit dem jnnerlichen Erdboden an Gesund- vnd Kranckheit für eine gestalt vnd vmbgang habe. Der Himmel regiert diesen vmbgang auch nicht allein, sondern es ligt sehr viel an der *Materi,* auß welcher die Natur alle *Metalla* in der Erden, vnd alles Gewitter ob der Erden machet, vnd wie es mit den *Excrementis* beschaffen, ob sie sich gehäuffet, ob sie anflammen oder bleiben werden. Der Himmel selbsten, welcher zwar ja viel hierzu vermag, der gewinnet bißweilen einen [S. 15] vnversehenen Gast, das ist, einen Cometen oder neuen Stern, der thut hernach im Antrieb auch das seinige, also, daß man auch die Himmels gestalt diß orts nicht völliglich vorsehen mag.

Weil aber doch die *Materi* träg vnd langsam ist, vnd dahero in der Erden auch langsame langwüriger *Affecte* erwecket, die zu langwüriger feuchte oder trückene vrsach geben: also erzeiget hievon die Erde gemeiniglich auch eusserlich lang vor her jhre Vorbotten, an Thieren, Kräutern vnd Gewächsen, auff welche deß Baursmanns *Observationes fundirt,* vnd keins wegs zuverachten seynd.

Darumb thun meine Spießgesellen, die viel *Prognosticanten,* mit mir nicht recht daran, daß sie den Wuchersüchtigen Kauffleuten zur befürderung, jhre Calender so früe zu Marckt richten, vnnd deß Herbsts, (allda dergleichen Vorbotten zuerscheinen pflegen) nit erwarten. Wann sie in allen Landen auff Himmel vnd Erden zumal achtung geben, were zuhoffen, daß man in diesem theil der Naturkündigung etwas bessers in erfahrung bringen wurde. Aber also muß ich schier auch mit hotten, vnd kan mich der Laurn Practica selber nicht so vil, als ich wol solte, gebrauchen oder rühmen: sondern muß dem Erdboden alle Jahr, als gleichsam in einem gemeinen gewonlichen zustandt betrachten: fehl ich hie, vnd es gewinnet der Erdboden etwa ein vngewonliche gestalt innerlich, nach seiner eygenen verborgenen Ordnung, so ists nit wunder, ob schon die Himlische Antrieb nit auff diese weise gerathen, wie ich sie außgelegt. Diß ist allein das beste, daß solche Antriebe, auff jhre gesetzte Täge, nach Ordnung der Aspecten sich gemeiniglich melden mit einer mercklichen übermaß.

Mit diesem Vorbericht schreite ich nu fort in der Beschreibung deß Frülings, vnd hab sicherlich zuvertrösten, daß es vmb Mariæ verkündigung wegen der zwyfachen verknüpffung vierer Planeten, jede drydoppelt, einen sehr starcken Stoß thun werde: das überige ist Vermuthung: Nemlich es werde ein warmes überflüssiges Regenwetter, vnd starcke Westwinde seyn, vnd werde die Erdwärm den Schnee im Alpgebürgen von vnten auff angreiffen, vnd auff dem Inn vnd Tonaw ein grosses Gewässer verursachen. Drauff der Lentz recht völlig angehet.

April. [S. 16]

DIeser Monat, wird sich der *Aspecte* halben wol einstellen, doch mehr hitzig dann naß. Es werden alle Baumfrüchten vnd das Rebwerck allerdings herfür kommen. Vnd ließ ich mich die gemeine Astrologische Regel so vil nit jrren, da man für gibet, wann ein Mondsfinsternuß das Baum außschlagen erreiche, daß ein Vnglück über das Obs gehe: Wann nit in der Wochen nach *Georgij Saturnus, Mars* vnd *Mercurius* ein gedrittes macheten, da möchte es warlich schädliche kalte Wind vnd Reiffen setzen, wann nit zuvor im Mertzen die SchneeGebürge gar wol geraumet vnd abgedecket worden.

May.

EIne schöne liebliche vnd warme Zeit, die will ich bey jhrem Namen *Cantate* bleiben lassen, auch hernach guter fruchtbarer Netzung gewärtig seyn, allein wöllet deß nachfolgenden Sontags *Exaudi* nit vergessen. Verrichtet jhr den

vmbgang schleunig das wird ein gut Zeichen seyn: Ich fürchte aber das Vngewitter vmb den 21. 22. 23. werd euch nach Hauß jagen, oder gar daheim behalten. Zuwünschen es gehe mit stetigem Regen ab, dann so ein helle Nacht drunter käme, möchte es schädliche Reiffen geben, weil in diesem Monat wegen deß vorhergegangenen warmen Wetters alles in voller Blühe stehen wird.

Brachmond.

WO der Rebstock, vnd das Traid im Aprili vnd Mayen nit schaden genommen, finden sie diesen Monat ein gut erwünschet Wetter, Himmels halben. Solte aber ein übermaß an Nässe erfolgen, das were ein anzeigen, daß ein jrrdische Vrsach darzu käme, vnd diß würde ein böses Zeichen seyn für die [S. 17] Witterung durch das übrige halbe Jahr. Himmels halben geschicht die meiste Netzung vor vnd vmb S. Veits tag.

Sommertheil.

DIe Sonne erreicht den höchsten Puncten jhres wegs auff den 21 Junij frü vmb 6 Vhren, als bey vns der 24 ♋, sampt ☿ im Auffgang, ♂ ein wenig oberhalb im zwölfften, ♄ im ersten, der ☽ bey ♃ im andern. Diese *Figura* were zimlich, aber die rechte Himmlische vrsachen zur Witterung seynd dieses Quartal über, sonderlich zu end sehr wichtig vnd schwer, wie von einem Monat zum andern folgen solle.

Zwar durch den übrigen Theil deß Junij auß, bleibt es noch bey dem vorigen vrtheil, vnd findet der Weinstock Himmels halben eine sehr erwünschte Zeit zur Blühe, wann er nur zuvor im Aprilen vnnd Mayen keinen schaden genommen.

Heumonat.

NVnmehr nähern sich Sonn vnd Mars, vnd eylen beyde zu den zwenen Höchsten im Löwen vereinigt. Deß wird die gewönliche Sommerhitz dißmals desto grösser, vnd ist also in diesem Julio Himmels halben ein gut trucken zeitigung Wetter zuhoffen, dabey das liebe Getraid, zu erquickung deß Armen in langwirigem Hunger vnd Kummer fast erstorbenen gemeinen Mannes, mit glück vnd freuden in die Städel gebracht wird, wo nur so vil Friedens in Landen. Doch zu außgang deß Monats will es anfahen sorglich witteren.

Augustmonat.

WIe in beschreibung der grossen *Conjunction* wie gemeldet worden, ist zwar dieselbige in diesem jetzt ablauffenden 1623. Jahr vnd Monat Julio geschehen, der vortrab aber zu derselben ist gewest Anno 1622 im Junio vnd Julio; [S. 18] Jetzo im Augusto vnd Septembri deß 1624 folgt jhr Nachzug vnd völliges *Complement:* vnd lauffen die Planeten alle im Löwen, deßhalben der ☽ zumal auff einen Tag jhnen allen durch die Spiesse lauffen muß. Ich vermuthe derhalben, es werde dieser Augustus, sonderlich gegen dem Neuen sich zu einem stetigen Regenwetter schicken, vnd so eine sonderliche grosse Hitz im Junio vnd Julio vorhergegangen were, darff es wol eine grosse menge Heuschrecken geben. GOtt helff an denen Orten da die Pest angreiffet. Der Wein wird sich dises Wetters auch nicht zuerfreuen haben. Vmb Mari*æ* Himmelfahrt vnd Bartholom*æ*i ist groß vnd schaueriges Vngewitter enthalben. Das Grumat bleibt in der nässe, oder wird übel beschmeisset.

Herbstmonat.

DAs Wetter *continuiret* wie es der Augustus gelassen, mit vielem Regen vnd wird der Eingang diß Monat bey diesem erfolg frostig vnd kalt genug seyn, aber nichts desto weniger zornige Donnerwetter mit vnterlauffen.

Hernach vmb Mari*æ* Geburt versehe ich mich wider einer wärme, doch vmb das Neu, vnd biß nach dem 16. noch starcke platzregen.

Es wöll aber der Leser ingedenck seyn, was ich droben in Beschreibung deß Früling Quartals außgedinget, daß ich nemlich die Erd auch dißmals ansehe, wie sie zu gemeinen Zeiten zu seyn pfleget, nemlich voller Feuchtigkeiten, wann nach der Sommer hitz die Sonne nun beginnet zufallen. Solte aber ein vnnatürliche *disposition* deß Erdbodens fürhanden seyn, würde sich alsdann dieser *Exceß* deß himmlischen Antriebs auch wol in einem andern Gewitter verspüren lassen, wie Anno 1524 in Februario bey so vilen *Conjunctionibus*, es nicht Regenwetter geben, wie die *Astrologi prognosticirt* gehabt, vnangesehen das Zeichen der Fische zum wässerigen Triangul geschätzt wird: sondern es hat hingegen eine vnnatürliche warme, vnd in diesem Monat vngewonliche schöne Zeit gebracht, vnd ist die Bauerschafft in gantz Teutschland wahnsinnig vnd rasend darbey worden, darauß anstatt der wasserigen [S. 19] ein blutige Sündflut erfolgt, in welcher über ein hundert mal tausendt Baurn ersoffen seynd.

Wer ein gut Rohr hat, der mag auff den 16 früe die beyde Planeten ♂ vnd ♃ vor der Sonnen im Auffgang suchen, Jupiter zwar lässet sich leichtlich

finden, aber Mars anderst nicht, dann vielleicht etwa durchs Rohr. Der soll nach dem *Calculo Rudolphino* nechst oberhalb ♃ hinstreichen, vielleicht laufft er jhme gar vnter, mag jhne doch nit gantz bedecken.

HerbstQuartal.

DEn 22 Septembris nach Mittag vmb acht vhren, 47 minuten überschreitet die Sonne widerumb die *Æquinoctial* lini, damalen bey vns der 25 grad deß Löwens im Auffgang sampt Saturno, die übrige Planeten alle besser vnten im andern vnd dritten Hauß, der Mond im sechsten, vnd eingang deß Wassermanns. Die Bedeutung were nit sonderlich böse, weder in der Figur nach der *Astrologorum* meynung noch auch bey den folgenden täglichen *Aspecten*; wann allein in den vorigen Monaten nicht grosser schaden geschehen were. Gleichwol die Woche vor Michaelis hat noch viel Regens. Deß Obs wird wenig gerahten, die Waldfrüchte erfaulen auch.

Weinmonat.

OB wol der Tag nunmehr kurtz, die Sonne nider, versehe ich mich doch keiner sonderlichen Kält, noch Reiffens, sondern halte, es werde auff den 2. 3. mit einem Regen abgehen. Auff den 9. 10. möcht es mehr rauhe Winde geben. So viel nu Weins am Stock noch überig, so keinen schaden genommen von schauer oder fäule, oder im Früeling (dessen doch, förcht ich, wenig sein wird) dem möchte der October, wann schon die Zeitigung im Augusto vnd Septembri vmb etwas verhindert worden, noch etlicher massen zu hülff kommen, daß er [S. 20] dennoch zu trincken sein möchte. Aber auff Galli ist deß Herbsts ein Ende. Fürauß were es mittelmässig, nach art dieses Monats. Grosser Landsterben wird anhalten, wegen deß vntemperirten Sommers vnd der so vielen *Conjunctionum.*

Es haben auch die *Astronomi* disen Monat über ein lustige *Consideration,* wie es mit der *Conjunctione magna* so eine glimpffige Abkülung gebe. Dann aller massen wie die Planeten in jhren *Sphæris* Ordnung halten, eben diese Ordnung findet sich diesen Monat auch im *Zodiaco,* vnd also in den *Appulsibus Lunæ ad Planetas,* so auch in jhrem täglichen Auffgang. Dann da kommt von erst herfür ♄, nach jhme ♃, nacher ♂, dann ☉, bald ♀, hernach ☿, endlich (den 15) ☽.

Gebe der Allmächtige, daß gleich also auch nicht allein das Gewitter, sondern auch die gantze übrige Welt, nach so langer Vnordnung, vnd Zerrütligkeit sich widerumb in jhre alte anerschaffene Ordnung schicke.

Wintermonat.

DIeweil Mercurius diesen Monat mit seinem ruckgang vnd zweyen stillständen zubringt. auch sampt ♀ vnd der Sonnen, durch der obern Planeten *Aspectus* lauffet, halte ich diese Zeit werde sehr vnstet vnd Melancholisch sein, nicht übermässig kalt. Das meiste Geplüder trifft die Wochen nach Martini. Gegen dem End deß Monats, möchte es in den Gebürgen Schnee werffen, bey vns Regen mit kalten Winden.

Christmonat.

ES sihet zu Eingang noch keinem Winter gleich, sondern Regen vnd wähen ist fürhanden. Auff Nicolai auch Melancholisch, in Gebürgen Schnee. Vmbs Neu habe man acht auff Nächtliche Feuerzeichen, drauff es scharffe Wind vnd Schnee geben, vnd gegen *Luciæ* zugefrieren wird. Wann diß geschicht, haben wir hernach den überigen Monat auß Kalt vnd zimlich Schnee, gut für die Samen.

Beschreibung der Finsternussen in diesem 1624 Jahr. [S. 21]

ZWeymal wird vns allhie im künfftigen Jahr der Mond verfinstert, die erste Finsternuß geschicht in der Carwochen Mitwochen den 3 *Aprilis:* vnnd weiset der *Calculus Rudolphinus* auß, daß der Mond werde anfahen verfinstert zu werden Abends vmb fünff vhr, 31 minuten etwas wenigs minder dann ein gantze Stund vor Vntergang der Sonnen, dann dieselbe gehet vnter desselben Tags vmb 6 vhr 26 minuten nach Mittag. Es wird aber der Mond sich völliglich in den schatten der Erden verschlieffen vmb 6 vhr 31 minuten, vnd also nur 4 minuten nach vntergang der Sonnen, damalen er der Mond gerad im *Horizonte libero* stehen wird, bey vns aber in der Tieffe vnd an andern Orten, wo der *Horizon* nit frey, wird der Mond noch hindern Bergen sein. Es solte zwar der Mond, wann die Sonn vntergehet, schon herauff sein, dann er alsdann noch nicht gar *in opposito Solis,* vnnd zumal bey 9 minuten gegen Norden über die Sonnenstrassen erhöhet ist: Es trägt jhne aber sein *Parallaxis* widerumb vmb so viel, vnd noch etwas mehrers, vnterwerts, daß also die Zeit der völligen Verfinsterung, nach meiner *æquatione temporis physica,* gar genau *in ipsissimum occasum Solis* vnd *in Horizontem* eintrifft, nach der *æquatione temporis astronomica* solte es anderthalb viertel stund früer geschehen. Aber nach der *Æquatione temporis* vom *Tychoni Brahe* gezeigt, were es nicht gar ein viertel stund früer, vnd diß Himmels halben.

Was aber die Lufft anlanget, welche über die Erdkugel herstehet, da wird ein fleissiger *Astronomus* abermalen ein erwünschete Gelegenheit haben anzumercken, wieviel der Scheinbruch an beyden Liechtern, Sonn vnd Mond, außtrage, dann an statt, daß beyde Liechter zumal solten *in Horizonte libero* stehen, wie jetzo *ex Astronomia* angezeigt ist, wird hingegen der Mond an [S. 22] denen Orten, die keine hinderung von Bergen haben, noch etlich Minuten vor vntergang der Sonnen herfür stechen, doch allbereit beynahe gantz verfinstert, vnd also übel zusehen, wann nicht ein gar reine Lufft ist, vnd widerumb, wann die Sonne mit jhrem mittelpuncten den *Horizontem* völlig erreicht, wird der Mond schon eins oder zweyer Monds höch über den *Horizontem* erhaben seyn.

Die gröste vnd tieffste Verfinsterung geschicht vmb siben Vhr, 25. Minuten, wann der 26. grad der Waag bey vns im Auffgang stehet, Mars gegen Niedergang, Saturnus vnd Jupiter am hohen Himmel, damalen ist die Sonne im 14 grad 30 Minuten deß Widers, der Mond aber scheinet allbereyt im 15 grad der Waag vnd von der Sonnenstrassen gegen Suden, wegen seiner Barallaxi oder Abtrag deß Gesichts. Wird vnterhalb seiner, etwas zur lincken haben, den schönen hellen Sternen *spicam virginis, primæ magnitudinis,* oberhalb seiner etwas zur rechten in einer geraden Lini einen andern kleinen, auß dem Gestirn der Jungfrauen. Das ist nun abermal eine gute Gelegenheit für die *Astronomos* zuverkündigen, ob sichs also halte, oder ob es auch dißmals vmb etlich wenig minu. fehlen werde, wie etliche andere Mondsfinsternussen auß noch vnbekandten Vrsachen vnter den Fixsternen hin vnd wider schwancken, als ob es mit dem *Motu solis sub fixis* noch nicht aller dings richtig were, wie in meinem Buch *Hipparcho* mit der zeit mit *exemplis* erwiesen werden solle. Vmb Acht Vhr 20 Minuten soll der Mond gegen Auffgang anfahen widerumb in das Sonnen Liecht herfür stechen, vnd entlich vmb Neun Vhr 20 Minuten widerumb allerdings voll sein, daß also sein gantze Verfinsterung sich in die 3 Stund 50 Minuten erstrecket; Sein bleiben aber im Schatten mit gantzem Leib, ein Stund 49. Minuten. Was abermalen die *causæ physicæ* oder die Lufft am Schatten der Erden verenderen möchten, wird die Erfahrung bringen.

Soll derohalben jhre würckung oder bedeutung nach *Ptolomæi* Lehr, gleich damalen bey vns anfahen vnd sich biß in Junium hinein erstrecken. Man legt sie auß auff vergifftung der Lufft, weil sie in einem lüfftigen Zeichen ge- [S. 23] schicht, auff Mißgeburten, weil die Waag *Veneris* Hauß sein soll, auff schaden an Gartenfrüchten, wegen der Jahrs zeit, vnd dann auff bemählichung der Geistlichen Ceremonien vnd böse Mähr in Religionssachen, *propter spicam virginis,* da ist es zu dieser vnserer Zeit leyder also beschaffen, daß man hie leichtlich

zu streiten kommt, da dann der eine, wo nit beede, theil diß *prognosticum* (welches ich doch nur *ex Regulis Astrologorum* setze) vnfehlbarlich für waarhafftig preisen wurden.

Etwas mehr ist der Natur ehnlich, wann man dieserley Finsternussen auff die *Geneses* hoher Potentaten, welche *Solem, Lunam, vel Ascendens in libra* haben außdeutet, die *Astrologi* setzen auch die Landschafften, das wäre nun Oesterreich, vnser Vatterland. Ich halte es aber der Vernunfft viel gemäser, daß Oesterreich dieser zeit vnter die Fische gezehlet werde, biß ein anders wird. Doch laß ich auch dißmals Tyrol vnd Schlesien theils vnter der Waag sein. Fürnemlich aber solte diese Finsternuß Francken, Dennemarck vnnd Franckreich angehen, so dann einen andern Jungen Printzen, welcher *Jovem in libra Ascendentem* hat: Die übrige seynd mir nicht bekandt. Diese nun hetten sich zuhüten, daß sie sich nicht in allerley Handlungen einlassen, welche jhnen bösen nachklang vnd gefahr oder Verlust bringen möchten. Von den Todtfällen so nicht durch eygnes beginnen verursachet werden, stehe ich je mehr vnnd mehr an, ob solche durch ein Finsternuß angedeutet werden, allweil es doch natürlicher würckender weise keins wegs zugehen kan.

Die andere Finsternuß deß Monds geschicht Donnerstags vor Michaelis, den 26 Septembris, wann vmb 5 vhrn 53 minuten die Sonne wird vnter- vnd der Mond auffgegangen sein, so fahet bey der viertel stund hernach (das ist vmb 6 vhr 35 minuten) der Mond an zur lincken in den Schatten der Erden einzudringen, verliert sich völlig darein nahend in einer Stund, das ist vmb 7 Vhr 33 minuten, bleibt also völlig verfinstert ein Stund 54 minuten, dann vmb 9 Vhr 27 minuten wird er gegen Orient allgemach wider hell, wird der Verfinsterung gäntzlich entlediget vmb 10 vhr 25 minuten. Gehet also mitten durch den Schatten der Erden, wo er am dickesten, vnd weret die gantze [S. 24] Verfinsterung 3 Stund, 50 Minuten; nach außweisung deß *Calculi* der sich auff die *Geometricam formationem umbræ fundirt,* dann was die vngleiche beschaffenheit der Lufft belanget, in welche die Erdkugel eingewickelt, die ist nicht leichtlich vorzusehen, doch bringt sie gemeiniglich diß mit sich, daß man vermeinet die völlige Verfinsterung fahe später an, vnd höre früer auff, bleibe also der Mond nicht so lang völlig verfinstert. Das wird nun die *Observatio* geben.

Mitten in der Verfinsterung helt die Sonne im 3 grad 56 miten der Waag, der Mond gegen über im Wider, das geschicht vmb 8 Vhren, 30 Minuten, als der 10 grad deß Zwillings im Auffgang, die Planeten alle vnter der Erden vnd gegen dem Mond über, im Löwen, Jungfrau vnd der Waag. Solte derowegen jhre bedeutung den Außgang deß 1624 vnd Anfang deß 1625 erreichen, vnd über Teutschland gehen, weil es vnter dem Wider gezehlet ist: Die wird

nun außgelegt auff vmbfallen deß Viehes, Feuerzeichen in der Lufft, auff Raub, Brand vnd Verderben durch das Kriegswesen, das ist diser Zeit leicht zutreffen, obs schon nicht natürlich auß der Finsternuß folget. Es werden auch alle diese bedeutungen für sehr wichtig gehalten, wegen der versamblung aller Planeten gegen dem Mond über. Vnd kan es gar nicht schaden, daß Teutschland jme von einem einfall der Barbarischen Völcker traumen lasse, vnd sich darwider gefasset mache.

Ein Potentat, so Martem im Wider vnd Auffgang hat, so auch ein mächtige *Princessin,* welche *Horoscopum in principio Arietis* hat, werden durch diese Finsternuß gezeichnet *Astronomicè.* Mein *Experientz* anlangend, erinnere ich mich, daß vor 31 Jahren ein halbe Mondsfinsternuß in *vicinia mei Horoscopi* gewest, *in ultimo decano* ♊: Vor deren ich mich, auff gut Astrologisch, sehr geförchtet, weil damalen die Lufft nicht allerdings rein ward, an dem Ort, da ich gewohnet. Hab mich damalen mit einer Aderläß darauff *præpariert,* es ist mir aber Gott lob kein wideriger Gast zu dieser Mahlzeit erschienen, vnd also die *spesa* (meiner forcht) vmbsonst gewesen. Hingegen als Anno 1609. [S. 25] ein völlige Mondsfinsternuß gefallen im 24. das welches ist *gradus Orientis* gewest, in *genesi* eines Potentaten, hat es darauff allerley beschwerliche Verwirrungen, dessen Rathschlägen vnd Vervnruhigung der *Affecten* gegeben, darauß Verachtung vnd grosser verlust erfolgt: es seynd aber jrrdische *impulsivæ* vorher gangen. Läst sich also diß Werck vnnd Bedeutung der Finsternussen ansehen, nach dem die *humores* in eines jeden Augen beschaffen: Inmassen ich denn auch Anno 1621. in beschreibung etlicher *observierten* Finsternussen den Außschlag hierüber einem jeden heim gestellt. Ich meines theils hab bißhero mehrers in der Natur nit finden können, dann allein diß, daß zu denen Zeiten, wann es Irrdischer oder Himmlischer Vrsachen halben auff der Welt übel zugehet, vnd grosse Finsternussen darzu kommen, es gern noch ärger werde. Dann es geschicht *occulto consensu Animorum cum cœlo,* wann im Himmel das Liecht vngewonlich erlischet, daß auch dem jrrdischen *Animali*schen Menschen, das Liecht der Vernunfft vnd guten Rahts erbliechet, die *Affecte* Zorn, Vngedult, Begierd, Rach, Frevel, auffrührisch werden, Ja daß der Teuffel, als ein Fürst vnd Liebhaber der Finsternuß, wütender vnd beissiger in den Menschlichen Händeln wird, wann jhme Gott vmb deß Volcks Sünden willen also verhenget. Vnd so viel von den Mondsfinsternussen..

Der *Calculus Rudolphinus* weiset auß, daß auch die Sonne diß 1624 Jahr über zum dritten mal von dem Mond bedecket werden solle, diß geschicht aber nicht bey vns, auch wird allwegen nur ein klein theil von der Sonnen verdunckelt, vnd darzu in so beschaffenen Landschafften, daß nicht zuvermuthen,

daß ein zimliche menge deß Menschlichen Geschlechts darinnen wohnen köndte. Als erstlich den 18 Martij, wann es bey vns vmb 5 vhr 28 minut. vnd die Sonne noch nit auffgangen, stehet sie in der eussersten Tartarey schon schier am Mittag im 29. 9. ♓. vnd wird von dem Mond oberhalb berühret. Besser hinein gegen *Septentrion* im gefrornen Meer, wird sie auffs halb theil vnd nirgends weiter bedecket.

Fürs ander den 7 Aprilis, wann es bey vns vmb 6 vhr, 20 minuten, vnd die Sonne gleich bald will vntergehen, greifft der Mond im eussersten theil [S. 26] *Magellanicæ* in die Sonne nicht gar eines halben Zoll tieff hinein, im 28. 8. ♈.

Fürs dritte den 12 Sept. wann es bey vns vmb 8 vhr 8 minuten, wird die Sonne (im 20. 11. ♍ lauffend) am eussersten theil *Magellanicæ* oder *Zona frigida Australi* auffs höchst 5 Zoll verdecket. Seynd also diese 3 Sonnenfinsternuß nit sonderlicher *Importan*tz vnd möchten wol gar außgelassen werden.

Von andern wichtigen *Constellationibus*,
vnnd den Bedeutungen im Weltlauff.

HIerzu ist in meinem *Discurs* von der grossen *Conjunction*, vor einem Jahr gestellet, eine gute Fürarbeit geschehen. Dann im selben *Tractat pag. D 8.* ist angezeigt, daß die grosse *Conjunction*, so in diesem 1623 Jahr den 18 Julij allbereyt geschehen, allererst im fürhabenden 1624 Jahr vollkommen werde, vnd daß deßhalben die *Constellation* deß 1624 Jahrs an wichtigkeit dem 1623 vorzuziehen dem 1622 aber in vielen stücken zuvergleichen sey. Dann auff den 13 Augusti erreicht Mars den Saturnum, auff den 16 Septembris Jovem. Als dergleichen Anno 1604 geschehen den 10 Octobris im Schützen, sihe da hat Gott der HERR einen neuen sehr hellen Stern zu Saturno, Jove vnd Marte gesellet, daß man für drey, vier gesehen. Wann diß allwegen geschehen solte, so hette man dieser Zeit auffzuschauen, wann Jupiter frü von der Sonnen herfür kommt.

Ferrners ist an berürtem Ort angezeigt, daß diß 1624 Jahr dem 1622 in diesem stuck gleiche, daß wie dorten drey Planeten, Saturnus, Mars vnd die Sonne im Krebs zusammen kommen, also geschehe Anno 1624 ein gleiches im Löwen, dann die *Conjunctio Saturni & Martis* fällt in 23 gr. deß ♌, auff den 13 Augusti. Die *Conjunctio Saturni & Solis* deßgleichen, auff den 15 Augusti. Endlich die *Conjunctio Solis & Martis* auff den 18 Augusti findet sich im 26 grad [S. 27] desselben Zeichen, geschehen alle nahend deß Löwen Hertzenstern, vnd kommet der ☽ auff den 14 Vormittag darzu, Venus vnd Mercurius seynd auch nicht

weit vorher, auch im Löwen, Jupiter aber in der Jungfrau, doch auch nur 12 grad darvon. Vnd in einer Summa finden sich innerhalb zweyer Monaten, Augusti vnd Septembris siben vnd zwaintzig *Conjunctiones* der Planeten im Löwen vnd Jungfrau.

Fürs dritte, so ist auch diß wichtig, vnd hat gemeinschafft mit dem 1622 Jahr, daß wie dorten deß höchsten Potentaten *Revolution* in 26 ♋ getroffen worden (Dann diß ist die *confin* gewest, in welcher *Saturnus, Mars & Sol* zusammen gelauffen) also werden diß Jahrs auch hoher Häupter vnd fast aller übriger Potentaten *Revolutiones* getroffen, sonderlich aber welche *Solem circa* 25 ♌, vnd in der Jungfrau haben: Drunter ist eine Princessin von grosser Importantz, deren auch oben bey den Finsternussen gedacht worden.

Viertens, so ist in sonderliche Obacht zunemen, daß der Planet Mars durch diesen Augustum, *Astronomicè* in seiner höchsten *exaltation* stehet, dann dessen *Conjunctio cum Sole* geschicht zumal in beyden *Apogæis, Eccentrici* vnd *Epicycli.*

Zum fünfften, gestellet sich auch *Venus* hinzu, so daß die drey *Conjunctiones Martis, Solis & Veneris* in viel langen Jahren nicht nahender zusamm gerucket.

Zum sechsten, seynd alle Planeten *Septentrionales,* ausser deß Monds, vnd halten die Ordnung hierinnen, wie in jhren *Sphæris,* in allweg der höchste am wenigsten von der *Ecliptica* hindan stehet.

Endlich vnd zum sibenden so seynd die meiste *Conjunctiones* gar *partiles,* etliche gar *corporales,* so daß der vntere den obern bedeckt, oder doch anrüret, welches gar nicht gemein in *Astronomia* ist.

Was nun diese wichtige *Constellationes* im Augusto vnd Septembri bedeuten, ist vnnoth, die *Astrologos* darumben zu fragen. Wir sehen es leyder vor Augen, wie es in der *Politia* beschaffen, daß nemlich das Spiel noch nicht auß. Was nun der gemeine Burger- vnd Bauersmann bey *continuir*endem [S. 28] Kriegswesen sich zugetrösten habe, dessen wölle sich Gott erbarmen. Mir zweiffelt zwar nicht, er würde es thun, wann Er, als ein Allwissender Gott, nit befünde, daß diß scharffe Etzwasser noch weder bey hoch oder nidern StandtsPersonen auff das lebendige keines wegs nicht eingefressen. Ich weiß nicht wie anderen geschicht, ich zwar befinde es in meiner geringen, vnd eng eingespannenen Erfahrung vielfaltig, daß die Welt so gar in jhren unzimlichen Begierden ersoffen, vnnd so tieff jhn den Schlaf jhrer starcken Einbildungen eingesuncken, daß noch heut zu Tag wol auffzuschreyen were: O wann du es wüstest? Aber nun ist es für deinen Augen verborgen. Weil dann die jrrige *persuasiones* vnd halßstarrigkeit noch so groß: Als ist vermuthlich es werde der allerweiseste Menschen Hirt diese *Stimulationes* deß Gestirns bey dem ver-

derbten Menschen nicht hindern, sondern mit dem schröcklichen Landverderben an der Welt noch länger rütteln, biß Er zu seinem fürgesetzten *intent* gelanget, vnd sie anfahet die Augen auffzuthun, vnd nach den jenigen Friedens Mitteln zuschauen, welche jetzo allein den vnpartheyischen einleuchten.

Gleichwol wann die *astronomica constitutio* sich allerdings in der *Politia* abtruckete; were dannoch etwas guts zu *prognosticirn.* Dann die meiste *Revolutiones,* deren zuvor gedacht, welche nemlich über *Assumptionis Mariæ* hinauß, besser gegen dem End Augusti, vnd zu Eingang Septembris fallen, seynd nicht so scharff vnd verpäisset, wie Anno 1622; Dann sie lassen Saturnum dahinden im Löwen, vnd halten jhren Reichstag in der Jungfrau. Wann dann die verwundte vnd nahend todte das jenige thäten, darzu sie diese *Revolutiones* (nach meinen *principiis*) reitzen, wurden sie der Menschen Hertzen gewinnen, so wol den scharffen Wein in jhre Wunden giessen lassen, als das linde Oel, vnd bald guten Nutzen empfinden, über alles Menschliche gedencken, vnd so hoch steigen, als die *Astrologi* diese *Revolutiones* nimmermehr außlegen köndten. Es möchte sich vielleicht sechsen, mit deß zweyenden guten Willen, vnd das scheinet deren Mitteln eins hierzu. Der Leser besinne sich, was ich in mehrerwehntem [S. 29] *Tractat pag. E. 1.* auß den *Revolutionibus* deß 1622. vorgesagt, *ex affectu durandi, effectus durus,* Item von *sutionibus & sectionibus,* ob es nit also erfolget. Jetzo erwindet es noch an den vorgesagten *lenientibus* die wurden (ob Gott will) auff diesen fall, auch folgen, vnd den Sieg bestätten, dann die besagte glimpffige *Revolutiones* geben hierzu mehrere anlaitung. Daß es aber darumb allerdings seyn müste, vnd ich eben der einen Parthey richtigen Sieg zusagen, oder auch von einer gäntzlichen *Revolta* in den bekandten Welthändeln, wie etliche *Prognosticanten* vertrösten solte, das wer wider die Natur vnd wider Gott selbsten, vnd hiesse, das eusserliche Glück, ohne zuthun deß Menschens, an den Himmel geknüpfet: [*Nota pag:* E iiij Hab ich geschrieben, die fürwitzige Welt hab viel *particular* Fragen, wer gewinnen oder verlieren, Monarch oder Sclav, Bischoff oder Bader werden soll, da köndte ein guter *Politicus* die Welt besser *contentiren* als ich. Dise Wort sein in einem *Prognostico* etwas vnvorsichtig *allegirt,* vnd mit deß *Prognosticanten* Worten vermengt worden, also daß ein vngewarneter Leser mir leichtlich das Widerspiel dessen zulegen möchte] Sondern, wie gesagt, so heisset es, thust du das, so wirst du leben, thust du es nicht, so bist du doch Himmels halben darzu angereitzet gewest, hast es aber auß freyen willen vnterlassen, darumb bleibt auch das überig aussen, (wann die *Revolutio* bey dir noch so einen hohen Geist verursachete, dann dieser allein thut es nicht) vnd ich bleib auch bey Ehren, dann ich von keinem *absoluto eventu* oder Glückfall geschrieben.

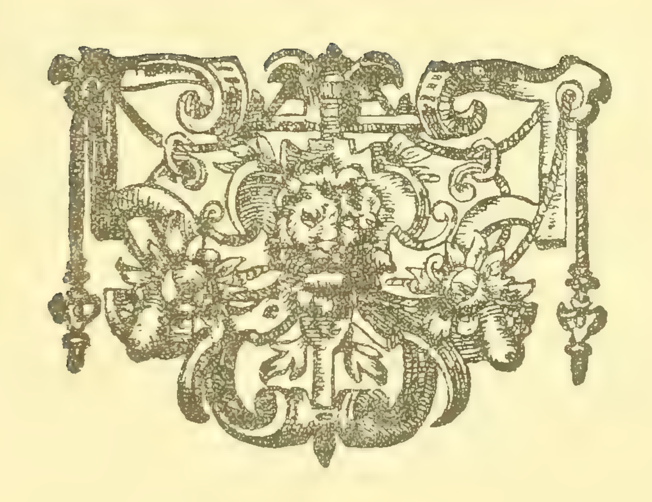
Aber wehe nochmalen dem armen Vnterthanen in diesen vnd andern Landen wo der Krieg noch fortgehet, dann es ist ein zorniges eyffersüchtiges Jahr, es werden auch solcherley Personen ohnzweiffel ins Spiel kommen: Vielleicht ein neue *faction* der *Amazonum,* oder was sonsten sich vnvernünfftiger blinder weise durch Zorn vnd Rachgier anführen lesset.

Was ich ferrners *pag. E 8.* auß natürlichem grund, vnd auß der Erfahrenheit von besorgendem Auffstand erwehnt, das gehet diß 1624 Jahr mehr an, [S. 30] dann die vorige. Ich meyne die *Conjunctiones Planetarum,* diese fallen in Augustum vnd Septembr. dieses 1624 Jahrs. Es kan aber der *Effect* sich wol ins 1625 erstrecken, wie vor hundert Jahren, da seynd auch die *Conjunctiones* Anno 1524 gewest, da hat man nur anfahen haitzen, zum Bad, die abzwagung aber ist allererst 1525 gefolgt. Die Vrsach der Theurung ist jetzo auch zu einer gleichen verlängerung geartet. Dann obwol das Traid verhoffentlich einkommt; so wird doch der Wein, förcht ich hinden bleiben, vnd ein böse Herbstsaat sein. So dann vnter deß der Krieg fortgehet, so wird aller Vorrath auff ein künfftiges Jahr auffgefressen, oder gehet in einem straiff dahin, nach dem es Gott in seinem Zorn verhenget. Da wird dann das heulen vnd weheklagen armer Weib vnd Kinder so groß, daß man darvor die Ablesung Landtsfürstlicher *Decreten* nicht vernemen mag. Mit dem Müntzwesen ist es ein mehr *general* werck, man lasse nur die Müntz wider steigen, wo sie jetzo gefallen, vmb vortheils willen, vnd schaue hernach auff in gantz Teutschland. Mit dem zwang zu einem verhassten Gottesdienst hat es auch seinen, doch gemessenen bescheid. Dann ich förchte, es möchte die vorbesagte Noth so groß werden, daß der gemeine Mann gern einen Kelch vmb ein stuck Brots geben werde. Wollen derhalben nochmalen die Häupter vor dergleichen *incentivis* (daß solche sich nit vermehren) die Gemeinden aber vor verführischen Anhetzern gewarnet seyn.

Den KriegsObersten vnd Befelchshabern wolte ich gern deßgleichen sagen, sonderlich vmb den 16 Septembris, daß nicht etwa *vis occulta Revolutionum, quasi pars physiognomiæ,* zu grossem Abfall vnd *tradimentis* anlaitung gebe, die wissen aber jhren Artickelsbrief ohn mich. Man setzet vnter die Jungfrau (allda die ☌ ♃ ♂ geschicht) Kärnthen, Crabaten, Zeug, NiderSchlesien, Preßlau, Etschland, Erffurd, Heydelberg: Ich setze dißmals Engelland viel billicher, Nit weniger alle dem Hauß Oest: vnterworffene Landschafften, vnd diß *respectu genesium,* Dann diese *applicatio* gehet dahin, wie das jenige auffgenommen werde, was da geschiehet. Gott schaffe Mittel daß wir eines Türckenkriegs dißmals überhaben bleiben.

Will hiermit mein *Prognosticum* beschliessen, mit dem kurtzen Gebet deß [S. 31] Propheten Jeremiæ, HERR bekehre du vns, so werden wir bekehret: so wird vnser Vatterland von dem langwirigen übelstandt entlediget vnd ferrner für Pestilentz, Hunger, Krieg vnd Auffruhr beschützet, die Landtsfürstliche Obrigkeit zu friedlichen heylsamen *Consiliis* geläitet, die Ehr Gottes aller Orten befürdert, das will ich männiglichen zu einem Neuen Jahr gewünschet haben.

ENDE.



Bemerkungen zum Prognosticum für das Jahr 1604.

Zwischen der Veröffentlichung des (nicht bekannten) Prognosticums für das Jahr 1603 und des vorliegenden von 1604 fällt die auf Verlangen Kaiser Rudolf II. erfolgte Abfassung des „Judicium de trigono igneo", in welchem Kepler die „große Conjunction des Jupiter und Saturn im feurigen Zeichen des Schützen" für den Kaiser nach ihrer meteorologischen und astrologischen Bedeutung darlegt[1]). Durch dieses, jetzt im Archiv der Sternwarte in Pulkowa aufbewahrte Manuskript, welches Frisch in den Werken zum ersten Male veröffentlicht hat[2]), erfahren wir einiges über den Inhalt des Prognosticums von 1603, in welchem gleichfalls jene die Astronomen und Astrologen jener Zeit lebhaft beschäftigende Konstellation erörtert wird. Ebenso ist daselbst Bezug genommen auf das vorliegende Prognosticum vom Jahre 1604, welches Kepler gleichzeitig mit dem Judicium abgefaßt zu haben scheint[3]).

Im ganzen scheinen die auf die Aspekte gegründeten meteorologischen Prophezeiungen Keplers für das Jahr 1604 nicht (wie wohl in anderen Jahren) besonders glücklich gewesen zu sein. Denn er schreibt im Prognosticum für 1605:

„Wie aber im verschienen Augusto ein grosser vnderscheid zwischen dem Wetter und meinem Prognostico, ja allerdings das widerspil ervolgt, haben erstgemelte meine güte Günner und Freunde still geschwiegen, vnd hingegen andere, zwar hohes verstands vnd ansehens

[1]) Als „trigonus igneus", „fewriger Triangel", werden in der Astrologie die in Zeiträumen von etwa 200 Jahren sich wiederholenden Konjunktionen der oberen Planeten Jupiter und Saturn in den drei „feurigen Zeichen" (Widder, Schütze, Löwe) bezeichnet. Zwischen jeder dieser drei aufeinanderfolgenden Konjunktionen liegt, der Umlaufszeit der beiden Planeten entsprechend, ein Zeitraum von etwa 20 Jahren. Auf die Konjunktion von 1603 im Schützen ist 1623 die im Löwen gefolgt, auf welche in den Prognosticis von 1623 und 1624 (vergleiche das Folgende) Bezug genommen ist. Den übrigen Sternbildern des Tierkreises entsprechend bezeichnet die Astrologie noch je die drei Konjunktionen von Jupiter und Saturn in Stier, Jungfrau, Steinbock als irdischen Triangel, die in den Zwillingen, der Wage und dem Wassermann als den lüftigen, die endlich im Krebs, Skorpion und den Fischen als den wässerigen Triangel. Man vergleiche hiezu die Ausführungen Keplers in der Abhandlung „De stella nova in pede serpentarii et qui sub ejus exortum de novo iniit, trigono igneo. Pragae, anno 1606". [Opera, vol. II, p. 611—750, und insbesondere p. 637.] Kepler schreibt dort das Erscheinen (Aufleuchten) jenes neuen Sternes im Fuß des Schlangenträgers im Oktober 1604 dem Beginn der neuen Periode des feurigen Triangels zu. Siehe hiezu auch den Diskurs von der großen Konjunktion 1623, Opera, vol. VII, p. 704. Auch in dem hier abgedruckten Prognosticum für 1624 verweist er im ersten Absatz der Betrachtungen „Von andern wichtigen Constellationibus" (Seite 51 [S. 26] der vorliegenden Abhandlung) auf dieses Ereignis.

[2]) Opera, vol. I, p. 439—450. Man vergleiche auch den hierauf bezüglichen Briefwechsel Keplers mit Fabricius, ebenda p. 344 ff.

[3]) „Ingleichen und das Wetter betreffend, hab ich diese meine Meinung im prognostico vber das 1604. Jahr widerholet, und weil es noch nit gedruckht, den Paragraphen hienach gesetzt."

(Vorrede zum Judicium, vgl. Opera, vol. I, p. 439 und 448. Man sehe auch die Anmerkung 16, p. 658 in vol. I der Opera.)

Personen, mir ernstlich vnd mit gantzem Fleiß zugesprochen, dieses Calenderschreibens abzustehen: weil ich sehe, das der Himmel sich einmal nit nach meinem Calender richten wölle: sonderlich weil die fundamenta Astronomica noch nit richtig . . .“

(Kepler meint hier die von ihm stets beklagte Unmöglichkeit, mit Hilfe der vorhandenen Tafeln den Eintritt der Aspekte genau vorherzuberechnen) und er fährt dann fort:

„Weil aber etliche ein so grosses mitleiden mit mir gehabt, das ich im Augusto so weit gefehlt haben solle: Will ich dahero vrsach schöpffen in dieser Vorred einen neuen brauch einzuführen, den ich villiecht in künfftigen Jahren, da mirs Gott vergünnet, continuirn, vnd etwa auch andere Practicanten demselben nachzuvolgen vermögen möchte: nämlichen will ich außführlich erzehlen, wie das wetter im abgelauffenen Jahr sich allhie zu Prag von tag zu tag erzeiget, vnd bestes verstandes andeüten, auß was himlischen oder jrdischen vrsachen ein jede verenderung des wetters ervolgt sein möchte: verhoffend ein solliche vbung, sonderlich wan andere Practicanten neben mir dieselbige an die hand nemen, vnd ohne falsch oder beschönung jres vorhergegangenen Prognostici ein jeder an seinem ort das wetter vleissig auffschreiben, vnd also wie er es gefunden, publicirn werden, solle entlich in gemein zu trefflichem nützen gedeyen.“

In den folgenden Ausführungen ist denn auch dieser Ansatz gemacht, wobei freilich stets die Aspekte mit ihren vermeintlichen vorausgehenden und nachfolgenden Einwirkungen, neben den „irdischen“ Einflüssen zur Erklärung der jeweils eingetretenen Witterung herangezogen werden. Daß Kepler bald darauf die Abfassung von Kalendern eingestellt, haben wir schon in der Einleitung bemerkt. Neben diesen den Anschauungen der Zeit entsprungenen meteorologischen und astrologischen Ausführungen ist der Inhalt der Widmung des Prognosticums mit der schlichten, sinnigen Darlegung des Wertes mathematischer und astronomischer Forschung um so ansprechender.

Zu Seite 16 [S. 10].

Die Bemerkung bezieht sich auf die Versuche der holländischen Generalstaaten, eine nordöstliche Durchfahrt und damit einen neuen, direkten Seeweg nach China und Indien zu finden. Nachdem 1594 Willem Barents bis Nowaja Semlja vorgedrungen war, überwinterten — ein bis dahin noch nicht vollbrachtes Wagestück — im Jahre 1596 auf 97 W. Barents und Jakob Hermskerk in der Polarregion bei Nowaja Semlja.

Zu Seite 17 (oben) [S. 10].

Der bekannte Vorfall im peloponnesischen Krieg, bei der zweiten Flottenexpedition der Athener nach Sizilien, welcher den Rückzug der Athener zu deren Verderben verzögerte.

Thukydides, Geschichte des peloponnesischen Krieges, VII. Buch, cap. 50. Vgl. auch Heis, Die Finsternisse des peloponnesischen Krieges, S. 11.

Zu Seite 17 (unten) und Seite 18 [S. 11].

Die Bemerkung bezieht sich auf die „Werke und Tage“ Hesiods, speziell die Stelle (Vers 383 ff.), die von der Zeit der Aussaat und Ernte handelt, sowie auf den „Bauernkalender“ am Schluß des Gedichtes.

Mit den weiteren Zitaten ist Bezug genommen auf:

Hippokrates' Schrift „Über die Winde, Wasser und Ortslagen" und den III. und IV. Teil der „Aphorismen" (Über den Einfluß der Jahreszeiten auf die Krankheiten). Ferner auf den

Kommentar des Hipparch zu den Sternbeschreibungen des Arates und Eudoxus, der in einer Florentiner Ausgabe von 1567 damals gebraucht wurde (später 1705 von D. Petavius in dessen Uranologion mit lateinischer Übertragung veröffentlicht).

Von Plinius' „Historia naturalis" kommt in Betracht das 2. Buch „Von der Welt und den Elementen" und das 18. Buch „Von den Feldfrüchten". Im Abschnitt 24 des 2. Buches findet sich bei Besprechung der Mondfinsternisse der oben von Kepler gegebene Hinweis auf Nikias. Abschnitt 57 des 18. Buches handelt speziell von dem verspäteten Eintritt der Wirkung der Gestirne.

Die astrologischen Lehren des Claudius Ptolemäus enthält vor allem die Schrift „De judiciis astrologicis" und die dieser angefügten „Centum sententiae" und „Inerrantium stellarum significationes". Zu Keplers Zeit war neben einer von S. Gryneus besorgten Baseler Ausgabe der Gesamtwerke des C. Ptolemäus im Originaltext (vom Jahre 1538) noch eine lateinische Venetianer Ausgabe von 1515 in Gebrauch; weiter erwähnt Kepler in den Rudolphinischen Tafeln eine Baseler Ausgabe von Schreckenfuchs von 1551 (die *μαθηματικὴ* (*μεγάλη*) *σύνταξις* oder der Almagest in der lateinischen Übersetzung von G. Trapezuntius). Die Münchener Staatsbibliothek besitzt die Baseler Ausgabe von 1541, Almagest übersetzt von G. Trapezuntius, De judiciis astrologicis von J. Camerarius, Centum sententiae von J. Pontanus, Significationes von N. Leonicus.

Ein ausführliches Bild der astrologischen Anschauungen jener Zeit gibt der dritte Teil der „Novae motuum coelestium ephemerides Brandenburgicae" des Davidus Origanus, (Frankfurt 1609) „De effectibus astrorum".

Kepler selbst anlangend sei noch besonders auf die Darlegungen im Tertius interveniens (Opera, vol. I, p. 547 u. ff.) hingewiesen; speziell die Thesis 72 und Thesis 86 führen die vorliegenden Betrachtungen weiter aus.

Zu Seite 19 [S. 13].

Unter dem „Lateinischen tractätl" ist die dem Gründer des Gymnasiums in Rosenberg, Petrus Wok Ursinus, gewidmete Schrift „De fundamentis astrologiae certioribus nova dissertatiuncula ad cosmotheoriam spectans, . . . ad philosophos scripta" gemeint, die, wie schon oben (S. 5, Anm. 1) erwähnt, auch ein Prognosticum für 1602 enthält.

Mit der „scharffverpesserten *Astronomia*" und der „im werck schwebenden *Correction* der *Astronomia*" (Seite 20 [S. 14]) ist Bezug genommen auf den von Kepler im Jahre 1602 aus dem Nachlaß von Tycho Brahe herausgegebenen ersten Band der „Astronomiae instauratae Progymnasmata" mit den „Tabulae Lunares", die noch besonders beim „März" (Seite 23 [S. 18]) des vorliegenden Erwähnung finden. Vergleiche hiezu den in den Werken vol. III, p. 691 ff. abgedruckten Briefwechsel zwischen Kepler und dem bayerischen Kanzler Herwart von Hohenburg „Transformatio Hypotheseos et tabularum Lunarium Tychonis Brahe".

Bemerkungen zum Prognosticum für das Jahr 1624.

Das vorliegende Prognosticum findet Erwähnung in dem Briefwechsel zwischen Kepler und dem Danziger Arzt und Mathematiker Crüger. Das Prognosticum war auf dem Marktplatz in Graz öffentlich verbrannt worden. Kepler schreibt darüber am 28. Februar 1624 an Crüger unter Zusendung des Schriftchens[1]):

„. . . Ad extremum addo prognosticum et Calendarium hujus anni, rogoque, ut legas praefationem, ut de causa dedicationis honestissima tibi constet; scito enim Ordinarios Procerum Styriae, advocato meo Mandatario, exemplaria omnia flammis exussisse publice. Dispeream, si tu ex toto libello, vocabulis etiam omnibus in equuleum conjectis, veram causam, ob quam haec in me congesta est ignominia, extorseris; si etiam vel levissima suspiciuncula illam fueris odoratus. Aperiam autem illam proximis literis. Tu interim torquere et torque libellum."

Crüger erwidert hierauf in einem Brief vom 15. Juli 1625:

„. . . Gratias etiam ago pro Calendario. Non equidem causam invenio Vulcano dignam. Forte offenderunt illa verba pag. penult. Mit dem Zwang zu einem verhaßten Gottesdienst. Aliam te mihi literis proximis aperturum dicis. Eam igitur exspecto . . ."

Darauf teilt dann Kepler, der den Brief Crügers vom 15. Juli am 7. September erhalten, die recht harmlose, aber für die kleinliche Rechthaberei jener Zeit charakteristische Ursache dieses Autodafés mit:

„At hic per meam absentiam spargebatur (Kepler war im Juli 1620 nach Stuttgart gereist, um in den gegen seine Mutter geführten Prozeß einzugreifen und kehrte erst Ende 1621 wieder nach Linz zurück) me propter temeritatem Nagelianae similem iram meruisse Caesaris, cumque effugerim (paucissimis enim causam abitus mei credideram) magnam a Caesare summam constitutam in caput meum, quin etiam flammis tradita exemplaria Calendarii omnia, quod tunc fieri non potuit, cum nulla scripserim, post factum est superiori Decembri in Styria, nullum ob prognosticum, sed quia de praecellentia contendunt provinciae, quarum in titulo fit mentio, cum ego Supr-Anisanam cui servio, praeposuissem. Hic privati aliqui, antequam res ad corpus Ordinum delata, praejudicium hoc insigni et solenni actu abolendum statuerunt. At corpus ipsum Ordinum pro dedicatione Mysterii trecentos mihi florenos donarunt. Hanc tu causam cladis chartarum, per se paulo post periturarum olfacere non potuisti . . ."

Die Stelle bestätigt zugleich die in der Einleitung (S. 8) aus den Rechnungsnachweisen abgeleitete Behauptung, daß Kepler in den Jahren 1621 und 1622 keine Kalender verfaßt hat. Es geht dies andererseits (wenigstens für das Jahr 1621) auch hervor aus einer Stelle in dem „Discurs von der großen Conjunction des Saturn und Jupiter" von 1623[2]), wo es mit Bezug auf eben jenen im Brief an Crüger erwähnten Vorfall heißt:

„Ja es ist mir auch Anno 1620. diser kurtzweilige Schimpff widerfahren, daß ich (damals ausser Lands) ein Prognosticum auff das 1621. Jahr geschrieben vnd in Druck geben haben muß, so ich doch selber gantz und gar vergessen, daß es geschehen, vnd schwur einen Eyd, es were nicht war, wann sich nicht ehrliche Leut gefunden hetten, die da fürgeben, sie haben es mit Augen gesehen vnd gelesen.

---

[1]) Opera, vol. VIII, 2; p. 886—887. Epistolae, ed. Hanschius, p. 472, 478, 461.

[2]) Opera, vol. VII, p. 698.

Weil es dann nun (anlangend der Leute vrtheil) gleich gilt, ich schweige oder schreibe, weisses oder schwartzes, als hab ich mich demnach gar nicht nach so vngleichen Vrtheilungen zu reguliren, sondern wie ichs selber bey mir befinde, also will ichs in Gottes Namen fürnehmen, vnd mein in der Natur vnd Vernunfft gegründtes Judicium über diß eingehende so vielbeschreitete 1623. Jahr, Schrifftlich an Tag geben. Darmit hoffe ich zu für kommen, daß niemand mir nichts anders, als von mir prognosticirt, andichten können werde."

Zu Seite 36 und 39 [S. 7 u. S. 11].

Kepler bezieht sich in der Einleitung des Prognosticums und insbesondere in der längeren Ausführung des Abschnittes „Früling" auf sein Kalendarium vom Jahre 1599[1]). Der dort in der Einleitung „Practica auff die Bedeuttungen der siben Planeten vnd Irer Aspecten" niedergelegte Gedankengang weist große Ähnlichkeit mit den hier gegebenen weiteren Ausführungen auf. Über die Anschauung einer „Erdseele", die sich immer wieder bei Kepler findet, vergleiche man einen Aufsatz von R. Pixis „Kepler als Geograph" in den von S. Günther herausgegebenen „Münchener Geographischen Studien"[2]).

Zum Abschnitt über die Finsternisse (Seite 47) [S. 21].

Die Beschreibung der Finsternisse gründet sich in diesem Prognosticum auf die neuen Rudolphinischen Tafeln, die Kepler damals druckfertig vollendet hatte. Die Drucklegung selbst besorgte Kepler bekanntlich erst 1626—27 in Ulm. Die Bezugnahme auf den „Hipparchus" (Seite 48 [S. 22]) zeigt, daß Kepler damals (Ende 1623) noch die Absicht hegte, dieses Werk, das er seit Inangriffnahme der Rudolphinischen Tafeln geplant und an dem er jahrelang gearbeitet, zu veröffentlichen. Aber schon kurz darauf schreibt er in dem vorhin erwähnten Brief an Crüger Ende 1624[3]):

„Hunc libellum statui partem facere Hipparchi ante 20 annos promissi: at quia sunt absolutae Rudolphinae nunc aliter videtur, scilicet Hipparchum hunc non seorsim edendum, sed partem constituendam libri, qui respondeat *τῇ μεγάλῃ συντάξει* Ptolemaei; quod opus post tabulas edetur, si Deus vitam et vires produxerit."

Dies letztere Werk kam nicht mehr zustande. Die Fragmente zum Hipparch, die jetzt unter den Manuskripten auf der Sternwarte zu Pulkowa aufbewahrt sind, hat Frisch im dritten Band der Werke[4]) veröffentlicht.

Zum Abschnitt „Von anderen wichtigen Constellationibus" (S. 51) [S. 26].

Im dritten Teil des Prognosticums bezieht sich Kepler vor allem auf die „große Conjunction von Saturn und Jupiter im feurigen Zeichen des Löwen", die er im „Discurs" von 1623 ausführlich behandelt. „Also ist zwar diese große Conjunction fürnemb, sie helt auch ihr Centrum Anno 1623 im Julio, sie theilet sich aber in die nechst vor vnd

---

1) Opera, vol. I, p. 401—409. 2) VI. Stück, München 1899.

3) Opera, vol. III, p. 518. — Epistolae, ed. Hanschius, p. 453.

4) Opera, vol. III, p. 509—549.

nachgehende Jahr auß, vnd mag also Himmels halben das 1623 so allein, dem 1622 und 1624. nicht vorgezogen werden[1]).“

Zu Seite 53 und 54 [S. 29 und 30].

Die beiden Zitate E 1 und Eiiij beziehen sich auf zwei Stellen im „Diskurs von der großen Conjunction 1623“, die sich auf Seite Ci und Ciiij (der Nürnberger Ausgabe des Diskurses) befinden. Vergleiche Opera, vol. VII, Seite 704—705 und 708. Die mit E 8 bezeichnete Stelle steht ebendort auf Seite D und in den Werken vol. VII auf Seite 709—710.

Bezüglich der Seite 54 [S. 30] erwähnten Bauernaufstände handelt es sich um folgende Daten:

Juni 1524: Beginn des Bauernkrieges in Schwaben. Februar 1525: Veröffentlichung der 12 Artikel, welcher die weitere Ausbreitung des Krieges folgte. Unterdrückung der Aufstände um die Mitte des Jahres 1525. —

Die Bauernaufstände in Österreich unter und ober der Enns, eine Folge der gewaltsamen Durchführung der Gegenreformation, führten im Mai 1625 zur Belagerung von Linz und zu einem erbitterten Kampf der Bauern gegen die Truppen des Herzogs Maximilian von Bayern (Tilly), dem das Land verpfändet war. —

Auf die Bauernaufstände von 1595 in den Steyerischen Landen hatte Kepler in seinem (nicht erhaltenen) ersten Prognosticum für das Jahr 1595 hingewiesen. Gerade das Eintreffen dieser Prophezeiung — zusammen mit der richtigen Vorhersage des Fortschrittes der Türken in Ungarn — hatte damals Keplers Ruhm begründet. Dabei konnte sich Kepler in diesen Voraussagen weit mehr auf die politische Konstellation stützen als auf die „Aspecte“, die für ihn nur die Bedeutung eines „Anreizes“ bei gegebener Gelegenheit, einer „Stimulation der Gestirne“ hatten. Diese Auffassung, die im vorliegenden Kalender bei den Erörterungen zum Frühling besonders betont ist, findet sich mehrfach in den astrologischen Schriften Keplers. So vergleiche man im besonderen die Thesis 68 und die folgenden in der Abhandlung „De Fundamentis Astrologiae certioribus“[2]). Auch die Einleitung des hier veröffentlichten Prognosticums vom Jahr 1604 handelt davon (Seite 19 oben [S. 12]) und ebenso das IV. Kapitel („Vom Kriegswesen vnd zuestand vnderschiedlicher Landschafften“) des Prognosticums von 1605[3]).

---

[1]) Opera, vol. VII, p. 704. [2]) Opera, vol. I, p. 435, 436. [3]) Opera, vol. I, p. 471, 472.



Abhandlungen
der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
XXV. Band, 6. Abhandlung

Monographie

der

fossilen Flora der Pithecanthropus-Schichten

von

Julius Schuster

Mit 27 Tafeln

Vorgelegt am 4. März 1911

München 1911
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



„Dich im Unendlichen zu finden,
Mußt unterscheiden und dann verbinden.“

Einleitung.

Goethes Worte, die dieser Arbeit als Motto vorangesetzt sind, gelten für jede Systematik: Systematiker sein heißt ja nichts anderes als an dem von der Natur gegebenen Material vorhandene Zusammenhänge finden. Die vorliegende Untersuchung einer tropischen Diluvialflora — die erste dieser Art — wurde daher vornehmlich zur Erzielung allgemeiner Resultate ausgeführt und ich hoffe zu zeigen, daß sich dieser Versuch gelohnt hat.

Das gesamte Beweismaterial, d. h. die fossile Flora, ist in der Weise dargestellt, daß immer das entsprechende rezente Objekt neben dem fossilen abgebildet ist; das Urteil über die Übereinstimmung zwischen beiden überlasse ich getrost dem Leser. Nur möchte ich bemerken, daß aus den Bildern, die von der bekannten Illustratorin am Botanischen Museum zu Berlin, Gertrud Bartusch, unter meiner Leitung hergestellt worden sind, durchaus die Natur und nicht etwa der Autor spricht. Von einer photographischen Wiedergabe mußte abgesehen werden, da sie den feineren Verlauf der Nerven nicht deutlich genug wiedergegeben hätte. Ferner wurde Wert darauf gelegt, daß jedes Blatt genau gezeichnet wurde, wie es im Stein vorliegt, da hierdurch allein der wahre Charakter des Blattes deutlich wird. Die vielfach angewandten Umrißzeichnungen genügen bei fossilen Blättern nicht, da sie ganz falsche Projektionen ergeben, wenn sie nicht entsprechend rekonstruiert werden; eine solche Rekonstruktion würde jedoch das Original nicht mehr ersetzen und den Zweck solcher Abbildungen illusorisch machen.

Die Bearbeitung der fossilen Flora erfolgte hauptsächlich im Botanischen Museum zu Dahlem bei Berlin, wurde im Reichsherbarium zu Leiden ergänzt und in München abgeschlossen. Für die Überlassung des einschlägigen Materials spreche ich auch an dieser Stelle Frau Selenka, sowie den Herren A. Rothpletz, A. Engler und J. W. C. Goethart den ergebensten Dank aus, den ich bei dieser Gelegenheit auch den Herren Blanckenhorn, Carthaus, Dozy, Elbert, Hallier und Martin abstatte.

Das gesamte Material wird im Paläontologischen Museum zu München aufbewahrt.

I.

Die Ablagerung und das Material.

Der durch die Ausgrabung des Pithecanthropus so berühmt gewordene Ort Trinil ist ein kleiner Weiler („duku“ oder Zehnschaft) in dem Verwaltungsdistrikt Ngawi der Residentschaft Madiun in Mitteljava und liegt, wie aus dem Kärtchen (Tafel XXVII, Figur 1) ersichtlich ist, nahe dem Nordrande der großen Ebene von Madiun, welche von dem Solo in südwestlicher Richtung durchströmt wird und sich in ihrer Mitte, bei der Stadt Madiun, 65 m über den Meeresspiegel erhebt.

Auf die Pflanzenfossilien wurde die Aufmerksamkeit gelenkt, als die Arbeiter bei den systematischen Ausgrabungen der Selenka-Expedition in einem blaugrauen vulkanischen Tuff mit Einlagerungen von Ton auf dünne, meist rasch auskeilende Schichten stießen, die außerordentlich reich an Blattabdrücken waren, so daß mit Recht von einer Hauptblätterschicht gesprochen werden kann, einem einzigen großen Herbarium vergleichbar, das die Vegetation jener vergangenen Zeit zu erkennen gibt. In den tiefer liegenden Schichten war das Florenmaterial teils nur spärlich teils sehr schlecht erhalten, doch verrieten die bestimmbaren Pflanzenreste den gleichen Charakter.

Die ganze Schichtenfolge (Tafel XXVII, Figur 2) von Trinil, die kaum 25 m Mächtigkeit erreicht, besteht aus vulkanischem Material und wird von sehr jungen marinen Schichten unterlagert, die sich hauptsächlich aus Mergeln und Kalken zusammensetzen. Von oben nach unten liegen über diesen folgende Schichten:

Schicht	Beschaffenheit
1	Rotbraune Asche und Lapilli, Opalholz.
2	Tonige Asche mit vielen Kalkkonkretionen.
3	Gelbgraue Asche mit schmalen auskeilenden Tonbänken und Kalkkonkretionen.
4	Braune, ziemlich lockere, hier und da durch Eisenoxyd und Kalkkonkretionen verfestigte Asche („Laharsandstein“), enthält im südlichen Teil des Profiles eine auskeilende Schicht aus toniger Asche mit vielen Süßwassermollusken.
5	Rotbraune Lapilli mit Knochen.

Schicht	Beschaffenheit
6	Blaugraue Asche mit auskeilenden Bänken und Toneinlagerungen; Blattreste bilden schmale Schichten in dieser Schicht („Hauptblätterschicht"), vereinzelte Kiesel- und Braunkohlenhölzer, sehr viel Schwefelkies.
7	Blaugraue Lapilli.
8	Sehr harte Tuffe und Lapilli, Detritus und Holzkohlen.
9	Lapilli, teilweise feinkörnig und geschichtet („Hauptknochenschicht"), 0,40 bis 1 m mächtig, Schicht des Pithecanthropus, zahlreiche Knochen, sehr viel Unionen und Paludinen, Detritus, Kiesel- und Braunkohlenhölzer, orangenartige Frucht.
10	Tonbänke mit Kopal.
11	Konglomerat, spärliche Knochenreste } mehrere Meter mächtig.
12	Konglomerattuff mit Bimssteinen } mehrere Meter mächtig.

Die Pflanzen sind alle aus Grube I (Profil A des Planes auf Tafel XXVII, Figur 1) und zwar die Blattabdrücke aus der blaugrauen Tuffschicht 6 oder Hauptblätterschicht. Teils gibt es hier ganze, sehr dünne, rasch auskeilende Schichten, welche aus Pflanzenmaterial bestehen, teils findet man die Pflanzen in den Toneinlagerungen, meist jedoch in dem Tuff. Dieses Gesteinsmaterial (Tafel XXV, Figur 6) ist als Augit-Andesittuff mit hauptsächlich grüner und brauner Hornblende, Orthoklas und Lapilli zu bezeichnen; Quarzkörnchen konnte ich darin nicht finden. Wenn trotzdem verhältnismäßig viele Kieselhölzer gefunden wurden, so dürfte hier der Ursprung der Kieselsäure in der vulkanischen Asche zu suchen sein, die ja eine beträchtliche Menge von Kieselsäure enthält. Wo das Aschenmaterial spärlicher ist, sind die Hölzer viel weniger verändert und durch die Zersetzung des Markasits in schwefelige bzw. Schwefelsäure in Braunkohle verwandelt und zwischen diesen Arten der Verkieselung und Verkohlung gibt es alle erdenklichen Übergänge und Kombinationen, so daß hier der Grad der Fossilisation gewiß keinen Anhaltspunkt für das Alter der organischen Reste darstellt.

Auch fossile Holzkohlen wurden in der harten Ton- und Aschenschicht 8 sowie in der Hauptblätterschicht gesammelt. Diese Holzkohlenreste sind hier deshalb zu erwähnen, weil seinerzeit in der Tagespresse die Vermutung ausgesprochen wurde, diese könnten von einem gleichzeitig mit Pithecanthropus lebenden Urmenschen herrühren, was zum Teil in die Lehrbücher, z. B. das von Kayser [1]), übergegangen ist. Zur Untersuchung erhielt ich fünf Holzkohlen-

[1]) Lehrbuch der geologischen Formationskunde 1908, S. 687, Anm. 2.

stücke (Tafel XXVI, Figur 6). Sie gehören alle ein und derselben Holzart an, nämlich der Lauracee Tetranthera alnoides, deren kleine erlenartige Blätter aus der Hauptblätterschicht mehrfach vorliegen. Nach meiner Meinung haben jedoch diese Holzkohlenstücke, die offenbar langsam verbrannten oder verglommen, da sie sämtlich noch die Markkrone (Tafel XXVI, Figur 10 und 11) im Innern enthalten, ohne daß die Zellen derselben zerdrückt sind, ähnlich wie dies bei dem Holz der Kohlenmeiler der Fall ist, wenig entscheidenden Wert für die Frage, ob sie etwa dem Pithecanthropus oder einem hypothetischen Urmenschen als Feuer dienten. Denn sie können ebensogut Teile eines in der heißen Asche oder glühenden Lava verkohlten Astes sein als einer menschlichen Feuerstelle. Sie stellen große, knollenartige, zylindrisch bis knochenartig aussehende Stücke dar, die an ihren Kanten und Flächen einerseits den radialen Verlauf der Holzfasern und anderseits die Spuren eines Transportes zeigen, indem sie deutlich abgerollt sind. Nur soviel ist mir sicher, daß die fraglichen Holzkohlen nicht durch Blitzschlag entstanden sind. Denn einmal wären in diesem Falle nicht alle Zellen so regelmäßig erhalten und dann sind derartige fossile Holzkohlen, wie sie mir aus dem Obermiozän und Diluvium vorliegen, niemals so groß und bilden verkohlte, sich blattartig ablösende Längsabsplitterungen des sekundären Holzkörpers; auch handelt es sich bei der Holzart der Triniler Holzkohlen nicht um einen hohen Baum, sondern um ein mehr strauchartiges Vorkommen. Daß die Kohlenstücke im Gegensatze zu den Knochen und gewöhnlichen Hölzern, die in Trinil gefunden wurden, abgerollt sind, ist leicht verständlich, da sich Holzkohlen durch mechanische Berührung sehr leicht an den Kanten abrunden und gegenseitig abplatten.

Die fossile Flora von Trinil hat schon von zwei Seiten eine, wenn auch nicht sehr eingehende, Bearbeitung gefunden. Einmal von seiten des Geologen Elbert[1], der allerdings fast nur Gattungsbestimmungen lieferte und zwei Gewächszonen unterscheiden zu können glaubte: eine angeblich der gemäßigten Region entsprechende untere Pflanzenschicht, in welcher der Pithecanthropus gefunden wurde, bestehend aus verschiedenen Ficus-Arten, Proteaceen, Dipterocarpeen, Dillenia, Michelia, Magnolia, Eugenia jambolana (diese ziemlich häufig) und Eugenia decipiens, ferner eine der kühlen Region äquivalente obere Gewächszone, die durch das auffallende Überwiegen von Quercus und Castanea, ferner Laurus und Litsea, Dysoxylon, Engelhardtia, Cornus und Benthamia, sowie Ericaceen und Myrtaceen charakterisiert wird. Elbert unterscheidet nach den beiden Gewächszonen zwei verschiedene Stufen, indem er die untere Pflanzen-

[1] Über das Alter der Kendeng-Schichten mit Pithecanthropus erectus Dub. Neue Jahrb. f. Min. usw., XXV, Beilage-Band, 1908, S. 648.

schicht mit Pithecanthropus zu dem von ihm als untere Kendeng-Schichten bezeichneten und zum Altdiluvium gerechneten Komplexe stellt, während er die obere Pflanzenschicht zu seinen mittleren Kendeng-Schichten rechnet und gleichfalls dem Altdiluvium zuweist.

Eine weitere Begutachtung der pflanzlichen Fossilien der Selenka-Expedition erfolgte durch Valeton [1]), Vorstand des Herbariums in Buitenzorg. Dieser vergleicht von den Blattabdrücken — ein der Gattung Schima ähnlicher Fruchtrest, den Valeton erwähnt, lag mir nicht vor — einige mit den Blättern von Derris elliptica, ferner mit solchen von Ficus-Arten, namentlich Ficus retusa und Ficus infectoria, sowie Mallotus moluccanus, ohne damit über die Meereshöhe und die klimatischen Verhältnisse, unter denen diese Pflanzen gelebt haben, etwas Bestimmtes auszusagen. Über die zahlreichen als Detritus bei Trinil vorhandenen Pflanzenreste konnte Valeton nur wenig Aufklärung schaffen.

Mir selbst lag zur Untersuchung ein reichhaltigeres Material vor als Elbert und Valeton. Außer dem gesamten Pflanzenmaterial, das durch die mit Unterstützung der akademischen Jubiläumsstiftung der Stadt Berlin ausgeführte Selenka-Expedition 1906/07 zusammengebracht worden war, standen mir auch die Aufsammlungen der Selenka-Expedition 1908 zur Verfügung, im ganzen vier große Kisten, so daß eine monographische Bearbeitung des gesamten Materials als lohnende Aufgabe erschien.

Wenn nun auch meine Untersuchungen zu anderen Ergebnissen führten als die meiner beiden Vorarbeiter, so zeigt sich doch, daß ihre Beobachtungen einen richtigen Kern hatten. Die vier von Valeton identifizierten Arten sind vollkommen richtig bestimmt, aber zu klimatischen Schlüssen läßt sich ein so spärliches Material nicht verwenden, um so weniger, als diese vier Arten von dem Tiefland bis 1500 m emporsteigen, also nicht anzeigen, ob die mit ihnen vergesellschafteten Pflanzen in der bis 650 m herrschenden Tropenzone vorkamen oder der darüber beginnenden gemäßigten Region. Elemente der letzteren hat Elbert bei den freilich nur annäherungsweise bestimmten Gattungen richtig erkannt, er glaubte aber noch eine weitere der kühlen Region entsprechende Zone unterscheiden zu können, während es sich in Wirklichkeit um eine einheitliche Flora handelt, wie auch die Ablagerung eine einheitliche ist.

Wenige Worte seien noch den bei der Bestimmung der fossilen Pflanzenarten befolgten Prinzipien gewidmet. Weitaus die überwiegende Mehrzahl der Bestimmungen gründet sich auf Blattabdrücke, deren Erhaltungszustand indes in Anbetracht der Tatsache, daß das einschließende Material ein vulkanischer Tuff

[1]) Abgedruckt bei Carthaus in „Die Pithecanthropus-Schichten auf Java“, herausgegeb. v. M. Lenore Selenka und Prof. Max Blanckenhorn, Leipzig 1911.

ist, als ein sehr guter zu bezeichnen ist, so daß die feinsten Nervenverhältnisse studiert werden konnten. Die Richtigkeit der Blätterbestimmungen fanden mehrfach in den gefundenen Fruchtresten und fossilen Hölzern ihre Bestätigung und unter den im nachfolgenden mitgeteilten Bestimmungen halte ich die von 51 Arten für vollständig gesichert. Diese sichere Bestimmung war jedoch nur durch das zahlreiche und im allgemeinen gut erhaltene Material ermöglicht, da an den Blattabdrücken die feineren Nervenauszweigungen und an den Hölzern selbst die Perforation der Gefäße zu erkennen waren.

Man hat die „Blätterpaläontologie“ teilweise als eine müßige Spielerei hinstellen wollen, was dann auch vielfach verallgemeinert wurde, eine Verallgemeinerung, gegen die aufs schärfste protestiert werden muß. Mit Recht nennt L. v. Buch die Nerven der Blätter die Hieroglyphen, an denen die Blätter wieder erkannt werden können, und wenn auch der Paläontologe weiß, daß sich die Anordnung der Leitungsbahnen unter der Einwirkung äußerer Faktoren verändern kann, also nichts Konstantes ist, so bedient er sich doch bei seinen Bestimmungen schon lange eines Gesetzes, das bisher von seiten der allgemeinen Botaniker so wenig Beachtung fand, daß es kürzlich [1]) geradezu als ein neues Ergebnis aufgestellt wurde. Dieses Gesetz lautet, daß die Dichte des gesamten Nervennetzes innerhalb der ganzen Entwicklung einer Pflanzenart einen für diese konstanten Wert hat. Die Nervendichte ist also durch Vererbung festgelegt. Ich habe an anderer Stelle [2]) folgende, wie mir scheint, exakte Definition der Art gegeben: „Der Begriff der naturhistorischen Art ist der (relative) Inbegriff des gesetzmäßigen Verhaltens von Individuen in Bezug auf die äußeren Umstände innerhalb der den bisherigen Experimenten entsprechenden Zeit.“ Diesem gesetzmäßigen Verhalten entspricht auch die Dichte des Nervennetzes und diese bietet somit die Möglichkeit einer Artbestimmung von Blattresten, während Form, Konsistenz, Rand, Stiel des Blattes usw. von geringerer Wichtigkeit sind. Es ist daher notwendig, bei den lebenden Pflanzen, die für die fossile Erhaltung in Betracht kommen — und das sind primo loco die Holzgewächse — die Nervendichte von Grund aus zu studieren und von hier aus Analogieschlüsse auf die tertiären und prätertiären Blätter zu ziehen. Wird dieses Prinzip exakt durchgeführt, so müssen zwar manche Blätter als unbestimmbar zur Seite gelegt werden, aber man wird endlich auch in der Bestimmung fossiler Blattreste zu gesicherteren und einwandfreieren Resultaten gelangen als es bisher leider vielfach der Fall war.

---

[1]) Walter Schuster, Die Blattaderung des Dicotylenblattes und ihre Abhängigkeit von äußeren Einflüssen. Ber. Deutsch. Bot. Ges. 26, 1908, S. 194—237.

[2]) Arb. aus der Kaiserl. Biolog. Anst. f. Land- u. Forstwirtsch., Band VIII, Heft 2.

Es ist sogar möglich, daß man auf diese Art mit der Zeit phylogenetische Reihen wird aufstellen können, denn es leuchtet ein, daß man, wenn die Nervendichte etwas für die Art Konstantes ist, die phylogenetischen Vorfahren der betreffenden Art an der Beschaffenheit ihrer Nervendichte erkennen kann. So wird die Entwicklung der feinsten Nervatur der Blätter auch phylogenetisch verständlich. Walter Schuster hat die These aufgestellt, daß die Anordnung der feinsten Nerven nach dem Prinzip der Bildung von Flächen kleinsten Umfanges erfolge. Das ist eine Idee, kein Gesetz. Wäre dieses Gesetz zutreffend, so müßte einmal der Ansatz der Tertiärnerven stets senkrecht oder im stumpfen Winkel zu den Sekundärnerven erfolgen; das ist indes z. B. bei den Farnen, unter denen ja viele Polypodiaceen Netzaderungen der Blattspreiten aufweisen, nicht der Fall: hier sind die Winkel, wie ich mich an zahlreichem, wahllos herausgegriffenem Material überzeugt habe, stets spitz. Ferner müßten, wenn im Blatt durch weitere Nervenverbindungen Anastomosen auftreten, regelmäßige Polygone zustande kommen, Fünfecke, die als Flächen kleinsten Umfanges zu bezeichnen wären. Nun kommen bei der Entstehung der Netznervatur allerdings polygonoide Bildungen zustande, aber diese Polygonoide sind viel zu wenig determiniert, als daß man sie mit mathematischem Recht als Flächen kleinsten Umfanges bezeichnen dürfte. Daß dies nicht angängig ist, lehren uns wieder die Polypodiaceen mit Netznervatur, die uns induktiv einen Einblick in die phylogentische Entstehung der Netznervatur gewähren. Wir sehen hier in zahlreichen Fällen (z. B. bei Doryopteris), daß die Nerven ursprünglich dichotom sind. jedoch durch seitliche Berührung ursprünglich getrennter Adern Anastomosen bilden, wodurch dann Maschenbildung entsteht. Auch die sog. schlingförmige Nervation, die wir z. B. bei Polypodium lycopodioides treffen, entsteht, wie sich hier besonders deutlich zeigen läßt, durch seitliche Berührung von ursprünglich getrennten dichotomen Nerven. Schon diese Tatsache, die uns zeigt, daß die Netznervatur noch jetzt bei vielen Polypodiaceen durch seitliche Berührung aus der Gabelnervatur hervorgeht, beweist, daß das oben besprochene Gesetz nicht begründet ist. Ja nicht einmal für die Entstehung der Dichotomieen läßt sich ein Gesetz auffinden; auch hier sind die Winkel und Nervenlängen zu wenig determiniert, um daraus ein Gesetz ablesen zu können. Eine mechanische Erklärung dieser Verhältnisse ist daher vorerst nicht möglich.

Ich lasse nun die systematische Aufzählung der von mir in den Trinil-Schichten festgestellten Pflanzen folgen [1]).

[1]) Vergl. auch meine vorläufige Mitteilung in den Sitzungsber. der K. Bayer. Akademie, math.-phys. Kl. 1909, 17. Abh. sowie meine Ausführungen bei Selenka-Blanckenhorn, Die Pithecanthropus-Schichten auf Java, Leipzig 1911.

II.

Die fossilen Pflanzen der Pithecanthropus-Schichten.

Fungi.

Hyphomycetes.

1. cf. *Hyphomycetes* spec.

Tafel XXIV, Figur 1—2.

Reste von Pilzmyzelien sind in allen fossilen Hölzern der Trinil-Schichten überaus selten. Nur in einigen Gefäßen eines in Holzopal umgewandelten Stammstückes von *Cassia alata* (siehe diese) fanden sich wohlerhaltene Hyphen eines Pilzes, der indes ausschließlich in den Gefäßen wuchert, ohne in die Markstrahlen oder den Holzkörper einzudringen. Da auch die Wände der Gefäße keine Spur von enzymatischer Auflösung zeigen, handelt es sich um ein parasitisches Vorkommen.

So sicher diese Lebensweise des Pilzes ist, sowenig läßt sich eine nähere Bestimmung vornehmen, da Fortpflanzungsorgane nicht erhalten sind. An den dunkelbraunen ungegliederten Hyphen sind zahlreiche an die sog. Schnallenzellen der Basidiomyzeten erinnernde Hervorwölbungen sichtbar, allein bei Anwendung starker Vergrößerungen stellen sich diese lediglich als Anschwellungen der Myzelfäden heraus. Es handelt sich hier um eine Art Gemmenbildung, die teilweise zu Fusionen der benachbarten Stränge führt, wie sie Felix[1]) bei den als *Haplographites* beschriebenen und zu den Hyphomyzeten gestellten Formen beobachtet hat.

Der Pilz dürfte seinem ganzen Verhalten nach am ehesten zu den Hyphomyzeten gebracht werden, mit Sicherheit läßt sich jedoch die Familienzugehörigkeit nicht behaupten.

Dicotyledones.

Fagaceae.

2. *Castanopsis Curtisii* King.

Tafel I, Figur 1—8; Tafel XXVI, Figur 1—5; vgl. auch Tafel XXII, Figur 1—2.

Zu den relativ am häufigsten vorkommenden Fossilien gehören die Abdrücke von lederartigen, schwach dorsiventralen, länglich-lanzettlichen, ganzrandigen Blättern mit kurzer Träufelspitze. Charakteristisch für diese Blätter ist einmal der kurze, verdickte und etwas gedrehte Blattstiel, ferner die stark hervortretenden Nerven mit den außerordentlich breiten Zwischenräumen an ihrer Abzweigungsstelle vom Mittelnerv und der stark bogigen Annäherung in ihrem weiteren Verlauf; gegen den Rand des Blattes hin steigen die Nerven unter leichter Knickung fast senkrecht empor, ohne sich indes zu berühren. An dieser marginalen Knickung der Nerven zweiter Ordnung, ferner der Breite

[1]) Felix, Studien über fossile Pilze. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges. 1894, S. 275 und Tafel XIX, Fig. 5b.

des basalen Interstitiums sowie der starken Prominenz waren auch Fragmente ohne Blattstiel sicher zu bestimmen. Die Blätter haben eine oberflächliche Ähnlichkeit mit Cornaceen wie *Mastixia trichotoma* Bl., die indes viel steilere Nerven ohne Knickung, stärkere Queranastomosen und erheblich längere Blattstiele besitzt.

Auf Java kommen jetzt drei *Castanopsis*-Arten vor: *C. argentea* DC. (*Castanea argentea* Bl.), *C. javanica* DC. und *C. Tunggurut* Bl. Mit diesen stimmen jedoch die fossilen Blätter von Trinil weniger überein, dagegen decken sie sich, namentlich auch hinsichtlich der Größenverhältnisse vollständig mit *Castanopsis Curtisii* King, von der auch Kingsche Originalexemplare untersucht werden konnten. Die Pflanze ist ein Baum vom Habitus der Eichen und wurde von Curtis in Penang im malaiischen Archipel in einer Höhe von 300 m entdeckt. Am nächsten verwandt ist *Castanopsis nephelioides* King, die aber zahlreichere Seitennerven besitzt.

Die Bestimmung gewinnt an Interesse durch den Fund einiger verkohlter Fruchtstände, die nach ihrer äußeren Beschaffenheit recht vieldeutig erschienen (Tafel XXVI, Figur 1) und unter anderem an die Früchte gewisser Apocyneen wie *Rauwolfia sumatrana* erinnerten. Schnitte, die durch Anwendung von chlorsaurem Kali und Salpetersäure aufgehellt wurden, zeigten Reste eines mehrfächerigen Fruchtknotens, an dem sich deutlich Nucellargewebe und äußeres Integument erkennen ließ. Die dabei zutage tretenden Details machten es sicher, daß es sich um den Fruchtstand von *Quercus* oder *Castanopsis* handelt, auch Fragmente von kleinen anhaftenden Fetzen der Cupula konnten mikroskopisch nachgewiesen werden. Die Übereinstimmung mit *Castanopsis Curtisii* ist vollkommen, im einzelnen treffen auch hier die Verhältnisse zu, die für die Samenanlage von *Quercus Robur*[1]) festgestellt worden sind: besonders bemerkenswert ist die scheinbare Verwachsung der äußeren Integuments, das sich so dicht an das innere legt, daß beide Integumente, obwohl durch eine Fuge getrennt, wie miteinander verwachsen erscheinen. Die Erhaltung dieser Fruchtknoten ist durch die große Widerstandsfähigkeit bedingt, welche diesen Gebilden durch die Ausbildung von Steinzelleninseln in der Karpellwand zukommt (siehe Tafel XXVI, Figur 5 sowie die Figuren 2—4).

Die fossilen Blätter von *Castanopsis Curtisii* erinnerten sofort an *Quercus castaneoides* Goepp.[2]) aus der gelblich-braunen, harten Mergelschicht bei Pesawahan. Das Originalexemplar Goepperts, das ich in Leiden einsah, entspricht vollkommen der von Goeppert Tafel VII, Figur 56 mitgeteilten Abbildung. Es handelt sich um ein nicht ganz vollständig erhaltenes Blattfragment, das Goeppert mit bestimmten *Quercus*-Arten verglich, speziell der rezenten *Quercus lineata* Bl.; diese hat jedoch, wie sich freilich nur mit der Lupe feststellen läßt, schwach gezähnelte Blätter, auch fehlt die Knickung der Nerven, deren Interstitien hier gleichmäßiger und an der Basis enger sind. Die genauere Untersuchung des Originales zu Leiden ergab, daß ein ganzrandiges Blatt vorliegt. Schon Goeppert verschloß sich nicht der Ansicht, daß auch bei den auf Java einheimischen *Castanea*-Arten eine verwandte Nervenanordnung vorkommt und Ettingshausen[3]) stellte

---

[1]) R. v. Klebelsberg, Über die Samenanlage von Quercus Robur L. und intraseminale Gefäße. Österr. Bot. Zeitschr. 1910, Nr. 9 und 10.

[2]) Goeppert, Die Tertiärflora auf der Insel Java. Elberfeld 1857, S. 42.

[3]) v. Ettingshausen, Beitrag zur Kenntnis der Tertiärflora der Insel Java. Sitzb. K. Akad. d. Wissensch. Wien, I, 1883 (37. Band), S. 13.

das Fossil auf Grund der Nervatur direkt zu der Gattung *Castanopsis,* indem er sie mit der rezenten *Castanopsis tribuloides* DC. aus Khasia und dem fossilen *Grumileophyllum mephitidioides* Geyl. sp. aus der Tertiärflora von Borneo[1]) verglich. In der Tat hat Ettingshausen die oben hervorgehobenen Eigenschaften des *Castanopsis*-Blattes richtig erkannt, auch die Beziehung des Fossils zu *Castanopsis tribuloides* DC.; der Vergleich mit den umfangreichen von O. v. Seemen, dem verstorbenen *Quercus*- und *Salix*-Spezialisten des Berliner Botanischen Museums, revidierten Material ergab, daß die tertiäre Art, die demnach als *Castanopis castaneoides* (Goepp.) Ettingsh. nach den Regeln der Priorität zu bezeichnen ist, am nächsten mit der rezenten *Castanopsis tribuloides* DC. var. *ferox* King verwandt ist, einer im malaiischen Archipel (Assam, Khasia, Sikkim, Tonkin, Hainan) vorkommenden Form.

Von *Grumileophyllum mephitidioides* Geyl. liegt noch zu wenig vollständiges Material vor, um die von Ettingshausen[2]) vorgenommene Versetzung zu *Castanopsis* als sicher hinstellen zu können; eventuell wäre *Grumilea malaiana* K. Sch. zu vergleichen. Wenn aber Ettingshausen[3]) die von Heer[4]) vom Flusse Sankarewang auf Sumatra beschriebenen und als *Daphnophyllum Schefferi*, *elongatum concinnum*, und *lanceolatum* beschriebenen großen Blätter gleichfalls zu *Castanopsis* stellte, so ist dies, von der Größe abgesehen, bei *Daphnophyllum Schefferi,* das, wie Ettingshausen mit Recht anmerkt, mit *Daphnophyllum elongatum* zu einer einzigen Art gehört, schon deshalb nicht der Fall, weil hier die Nerven fast horizontal-parallel verlaufen; bei *Castanopsis*-Blättern sind die Nerven durchweg steiler, die Basalinterstitien breiter als die apikalen Entfernungen. Durch zahlreiche Vergleichungen wurde ermittelt, daß *Daphnophyllum Schefferi* Heer Tafel III, Figur 1, 2 und *D. elongatum* Heer Tafel IV, Figur 2 zweifellos dem Urticaceen-Genus *Sloetia* angehören und mit *Sloetia sideroxylon* Teysm. et B. am nächsten verwandt sind; letztere bewohnt die malaiische Halbinsel sowie Sumatra und findet sich auf Java kultiviert. Das von Heer als *Daphnophyllum Schefferi* var. bezeichnete Blatt Tafel IV, Figur 1 gehört zu einer eigenen Art, die der rezenten *Sloetia Wallichii* King aus Singapore am nächsten steht.

Material: *C. Curtisii* wurde von Curtis in Penang (malaiischer Archipel) in einer Höhe von 300 m entdeckt (Herb. Hort. Bot. Calcuttensis, no. 1691); außerdem nur von Borneo bekannt (Beccari, Piante bornensi, no. 3281 und no. 3300, det. O. v. Seemen).

Moraceae.

3. *Streblus asper* Lour.

Tafel II, Figur 12 und Tafel III, Figur 19—20.

Die Blätter dieses Strauches sind gewöhnlich gegen die Spitze zu mehr oder weniger gesägt bis gekerbt, doch kommen auch ganzrandige Formen vor. Die Zugehörigkeit zu *Streblus* ist zweifellos durch die sehr stark hervorspringenden, aufsteigenden Seitennerven, die meist in Siebenzahl auftreten.

[1]) Geyler, Über fossile Pflanzen von Borneo. Cassel (Palaeontograph.) 1875, S. 75.

[2]) Zur Tertiärflora von Borneo. Sitzb. K. Akad. d. Wissensch. Wien, I, 1883 (38. Band), S. 7.

[3]) Zur Tertiärflora von Borneo, l. c., S. 8 Anm.

[4]) Beiträge zur fossilen Flora von Sumatra. Zürich 1880, S. 14—17.

Material: Ostindien, Grenze von Nepal (Wight, no. 2709); Ost-Bengalen (Herb. of the late East India Comp., no. 4658); Koromandel (Macé); Malakka, Flora of the Andamans, no. 374 und 1884; Ceylon (Thwaites, Pl. zeylonicae, no. 2214); Balansa, Pl. du Tonkin, no. 4859; Siam, Bangkok (Iter Warburgianum, no. 5050 und Zimmermann, no. 91; Henry, Hainan, no. 7957, 8389 und 8565; Java (Zollinger, no. 403, Iter Warburg., no. 1303, 3808, 3809, Forbes [Südost-Java], no. 1191, Elbert, no. 523); Molukken, Philippinen (Cuming, Iter Warburg., no. 12484, 12485, 12546, 16964.

4. *Artocarpus rigida* Bl.

Syn. *A. varians* Miq. sec. spec. orig.!

Tafel II, Figur 13—18.

Für die länglich-elliptischen bis verkehrt-eiförmigen Blätter, die oft in eine Spitze endigen, sind die auf der Unterseite hervorspringenden, fast geraden, mehr oder weniger steilen Nerven zweiter Ordnung charakteristisch; gegen den Rand hin werden letztere bogenläufig und anastomosieren, die Anastomosen bilden kleine Polygone und erscheinen dadurch netzförmig, während sie bei *Streblus asper* viel spärlicher entwickelt sind.

Material: Ostindien, Perak (Herb. Hort. Bot. Calcuttensis, no. 6754 und 7612); Sumatra (Forbes, no. 3041); Borneo (Beccari, no. 2478); Java (Zollinger, no. 2982 teste Warburg). Nach Originalexemplaren aus Java (ex Herb. Lugd.-Bat.) ist *A. varians* Miq. mit unserer Art identisch.

5. *Artocarpus* cf. *altissima* J. J. Smith.

Tafel I, Figur 9.

Beim Präparieren der Blätter kam ein verkohlter Blütenstand zum Vorschein, der sich nur als männliche Infloreszenz einer *Artocarpus*-Art deuten läßt. Der annähernd zylindrisch-ovale Blütenstand liegt nahezu median gespalten samt Stiel vor. Die Durchsicht der javanischen Arten ergab nichts Entsprechendes, auch die sonst ähnliche Infloreszenz von *Artocarpus bornensis* Warburg (Tafel I, Figur 11), einer von Beccari auf Borneo entdeckten Art, unterscheidet sich durch die kleineren Segmente; auch *A. rigida*, wovon ja mehrere Blätter vorliegen, kommt nicht in Betracht. Dagegen stimmt ziemlich gut überein *A. altissima* J. J. Smith aus Sumatra[1]), deren männlicher Blütenstand mir allerdings nur aus den Icones Bogorienses X, tab. CCXXXIII bekannt ist; die dort gegebene Darstellung ist hier mit einer kleinen Korrektur wiedergegeben (Tafel I, Figur 10), d. h. das Perianth hat, wie dies ja bei *Artocarpus* stets der Fall ist, nur ein Staubblatt.

Da die für *A. altissima* so charakteristischen gekerbten Blätter fossil von Trinil nicht zu konstatieren waren, läßt sich die Artbestimmung nicht mit voller Sicherheit ausführen.

6. *Ficus indica* L.

Tafel III, Figur 21—22; Tafel V, Figur 35—36.

Diese Art der Sektion *Urostigma* kennzeichnet sich durch die rechtwinkelig abzweigenden Tertiärnerven und die lange Rechtecke bildenden Anastomosen. Die zwei hervorspringenden Basalnerven lassen die lederartigen, kurz gestielten Blätter auf den ersten Blick als Feigenblätter der Abteilung *Urostigma* erkennen. Die sehr ähnlichen

---

[1]) J. J. Smith, *Artocarpus altissima*. Icones Bogorienses X, 1907, S. 79.

Blätter von *F. involucrata* Bl. unterscheiden sich dadurch, daß sie unvermittelt in eine kurze Spitze ausgezogen sind.

Material: Ostindien (Sprengel); Tenasserim (Herb. of the late East Ind. Comp., no. 4636; Java (Iter Warburg., no. 2726, 2727 und 2730); Philippinen (Herb. Berlin).

7. *Ficus retusa* L.

Syn. *F. benjamina* Willd.; *F. Naumanni* Engler sec. spec. orig.!

Tafel III, Figur 23—27; Tafel IV, Figur 28—31.

Wie schon der Name andeutet, sind hier die feinsten Nervenbahnen netzförmig angeordnet; so läßt sich diese gleichfalls zur Sektion *Urostigma* gehörige Art, deren Blätter hinsichtlich der Form äußerst variabel sind, durch die größere Dichte des Maschennetzes leicht von *F. indica* unterscheiden.

Die Richtigkeit der Bestimmung wird vollends durch einige Reste verkieselter Blattlamina klar, die sich zu Flächenschliffen verwenden ließ. Diese zeigen außer den Spaltöffnungen die Cystolithen-Behälter oder Lithocysten, wie sie Radlkofer[1]) genannt hat. Renner[2]) hat ihre Trichomnatur plausibel gemacht und die verschiedenen Ausbildungsformen dieser Gebilde systematisch untersucht. Dem fossilen Befund entsprechende Verhältnisse finden sich bei *F. rhododendrifolia* Miq., welche nach der Ausbildung der Lithocysten als Typus der Sektion *Urostigma* gelten kann. Die freie Außenwand der Lithocysten (Tafel III, Figur 25 und 27) ist sehr klein, flach und ohne Spitze.

Material: Ostindien (Pl. Herb. Wight, no. 2729); Ceylon (Wight, no. 2729, Thwaites); Hinterindien, Chittagong (Herb. Hort. Bot. Calcutt., no. 290, Balansa, Pl. du Tonkin, no. 2991 und 4803); Siam (Schmitt); Hongkong (Naumann); China (Warburg, no. 5496); Formosa (Warburg, no. 5446, 5898, 9873, 10443, 10456); Nicobaren (Kurz); Sumatra (Forbes, no. 2079, Warburg, no. 3777); Java (Zollinger, no. 665 und 2227, Warburg, no. 3772—3774, 3376 bis 3377, 12463, 16211, 16962, 20814—15, Elbert, no. 320); Borneo (Korthals); Celebes (Herb. Hort. Bot. Bogor., no. 19364); Philippinen (Cuming); Neu-Guinea, Kaiser Wilhelmland (Hollrung, no. 67 und 772); Constantinhafen (Nyman, Pl. Guineenses, no. 233); Neu-Island (= F. Naumanni Engler!).

8. *Ficus infectoria* Roxb.

Syn. *F. Finschii* K. Sch. sec. spec. orig.!

Tafel IV, Figur 32—34; Tafel V, Figur 37—38.

Dieser Feigenbaum hat eine besonders stark variable Blattform, nach der auch einzelne Varietäten unterschieden werden können, welche früher teilweise als Arten aufgefaßt wurden. Der Formenkreis umfaßt:

1. var. *genuina* K. et V. Blätter an der Basis ausgerandet, schwach herzförmig oder wenig verschmälert.

2. var. *Lambertiana* King. Blätter stark lederartig, am Grunde breit, rundlich bis schwach herzförmig.

3. var. *Wightiana* (Miq.) King. Blätter kleiner, etwa 6 cm lang, breiter, eiförmig, an der Basis verschmälert.

---

[1]) Radlkofer, Über die Gliederung der Familie der Sapindaceen, Sitzungsber. math.-phys. Kl. K. Bayer. Akad. Wiss. XX, 1890, S. 119.

[2]) Renner, Die Lithocysten der Gattung Ficus. Beih. Bot. Zentralbl. XXV, 1909, Abt. I, S. 183—200.

4. var. *Forbesii* K. et V. Blätter schwach lederartig, eiförmig bis elliptisch, an der Basis verschmälert oder rundlich, an der Spitze kurz akuminat, Seitennerven unterseits sehr stark hervorspringend, getrocknet gelb und glänzend; Blattstiele 2—2,5 cm lang.

5. var. *monticola* (Miq.) Schuster. Blätter sehr schwach lederartig, breit-länglich-lanzettlich, am Grunde verschmälert, oben in eine kurze Spitze ausgezogen, Seitennerven dünn, aber stark hervorspringend, meist 7; Blattstiele 4,5 cm lang; Blätter 15 cm lang, 5 cm breit. Von var. *Forbesii* und den übrigen namentlich durch die schmale elegante Form verschieden.

6. var. *caulocarpa* (Miq.) K. et V. Blätter schmal-oblong, plötzlich zugespitzt, am Grunde verschmälert, etwa 12 Seitennerven beiderseits; Blätter 17—20 cm lang.

Unter den fossilen Blättern finden sich die var. *genuina* (Tafel IV, Figur 32), in sehr schöner Ausbildung var. *Wightiana* (Tafel IV, Figur 33—34) und die charakteristische var. *monticola* (Tafel V, Figur 37—38). Der bei letzterer auffallend unregelmäßige, abwechselnd dickere und dünnere Blattnerv ist nur durch den Erhaltungszustand bedingt, da das Blatt bei der Versteinerung nicht flach lag, sondern mehrfach gewellt und gebogen eingebettet wurde, wodurch diese Unregelmäßigkeit, die durchaus nichts für die Pflanze Charakteristisches darstellt, zustande gekommen ist.

Material: var. *genuina*. Vorder- und Hinterindien, Herb. Wight, no. 2743, Herb. of the late East India Comp., no. 4613 (Tenasserim), Flora of Singapore, no. 98, Upper Burma (Abdul Huk), Flora der Gangesebene, no. 2539; Java (Iter Warburg., no. 3779, 3786 und 11957, Herb. Hort. Bot. Bogor., no. 19310); Manila (Chamisso); Timor (Naumann, Forbes, no. 3618 und 3771); Neu-Guinea (Hollrung, Lauterbach, no. 1426 = *F. Finschii* K. Sch.!). — var. *Wightiana* (Urostigma Wightianum Miq.). Herb. Wight, no. 2730 (Ostindien); Ceylon (Thwaites); Japan, Jatsuma (Shirai). — var. *monticola* (Ficus monticola Miq.). Khassigebirge (Herb. Ind. or. Hook. f. et Thoms.).

9. *Ficus callosa* Willd.

Tafel VI, Figur 41—44; Tafel XXXV, Figur 3—4; Tafel XXXVI, Figur 14.

Diese von Willdenow 1798 beschriebene Art hat charakteristische, große, ovale Blätter, die am Grunde gewöhnlich breit gerundet sind (Tafel IX, Figur 43—44); manchmal sind sie jedoch etwas in den Blattstiel verschmälert, wie bei der auf Tafel VI, Figur 41 abgebildeten fossilen Form, die vollständig den im Herbar Willdenow aufbewahrten Originalexemplaren (Tafel VI, Figur 42) entspricht.

Hierher gehörige Kieselhölzer mit wohlerhaltenem Mark wurden mehrfach gefunden. Der Querschliff (Tafel XXXV, Figur 3—4) zeigt isolierte oder zu 3 verbundene Gefäße mit Thyllen, einreihige Markstrahlen und reiche Entwicklung des Holzparenchyms. Für die Bestimmung sind besonders die teilweise Gerbstoffe enthaltenden polygonalen Markzellen maßgebend, die bei der sonst sehr ähnlichen Holzstruktur von *Ficus variegata* Bl. auch im Holzparenchym vorkommen; letzteres ist auch bei *F. retusa* und *F. infectoria* der Fall, die außerdem auf dem Tangentialschnitt zweireihige Markstrahlen zeigt. Bei F. callosa (Tafel XXII, Figur 14) sind diese stets einreihig und nur manchmal in der Mitte zweireihig, die Holzfasern gefächert. Von Wichtigkeit ist ferner die starke Entwicklung des Holzparenchyms, das bei F. indica nur in Form von quer verlaufenden Binden angeordnet ist. Bei den Gattungen Streblus und Artocarpus sind die tangentialen Markstrahlen bis 3 Zellreihen breit, bei Artocarpus die Gefäße von Parenchymbinden umgeben.

Material: Herb. Willdenow, no. 19298 („foliis oblongis integerrimis“, spec. orig.!); Ostindien (Link); Malabar (Herb. Ind. Or. Hook. f. et Thoms., no. 110); Ceylon (Thwaites, no. 2562); Andamanen (Kurz); Sumatra (Teysmann); Java (Herb. Hort. Bot. Bogor., no. 19130 und 19217; Zollinger [It. javanic. II], no. 3157 und 3765); Madura (de Vriese); Celebes, Minahassa (Koorders); Timor (Herb. Berlin).

10. *Ficus variegata* Bl.

Tafel V, Figur 39—40.

Im Gegensatz zu den 4 bisher beschriebenen *Ficus*-Arten der Sektion *Urostigma* mit polygonal gefelderten Anastomosen, durch welche das Blatt eine retikulierte Beschaffenheit erhält, hat diese der Sektion *Neomorphe* angehörige Art lediglich rechtwinkelig abzweigende Queranastomosen, welche die Sekundärnerven verbinden und transversal verlaufen. Dagegen sind Polygonalanastomosen nur gering entwickelt und erst bei stärkerer Vergrößerung sichtbar. Der Rand der breit-eiförmigen Blätter ist geschweift.

Material: Ostindien, Panjab, Sikkim (Herb. Berlin); Hongkong (Naumann); China, Kanton (Warburg, no. 5443 und 5516); Andamanen (Herb. Hort. Bot. Calcutt.); Java (Zollinger, no. 684, Warburg, no. 2286, de Vriese, Elbert, no. 521); Celebes (Sarasin).

Loranthaceae.

11. *Loranthus longiflorus* Desv.

Tafel VII, Figur 47—48.

Konsistenz und Nervenverlauf des Blattes stimmen vollkommen mit der zur Untergattung *Dendrophthoë* (Sektion *Eudendrophthoë*) gehörenden Art überein. Charakteristisch für die schon von Ettingshausen[1]) näher untersuchten Blätter des rezenten *Loranthus longiflorus* ist der namentlich in der unteren Hälfte des Blattes außerordentlich starke Hauptnerv, während die Sekundärnerven nur wenig hervortreten; ein Blattnetz fehlt.

Material: Ostindien, nordwestlicher Himalaya (Herb. Ind. or. Hook. f. et Thoms.); Ost-Bengalen (Griffith), Herb. late East Ind. Comp., no. 2710, Herb. Wight, no. 1242—43, Wallich, no. 507; Java (Elbert, no. 410); Timor (Forbes, no. 3844); Australien, Port Jackson (Herb. Bot. Gard. Sidney).

12. *Loranthus elasticus* Desv.

Tafel VI, Figur 45—46.

Dieser gleichfalls zur Sektion *Eudendrophthoë* gehörige *Loranthus* unterscheidet sich von dem vorigen durch die deutlich verkehrt-eiförmige Blattform, den weniger dicken Mittelnerv und den regelmäßigeren Verlauf der Seitennerven.

Material: Ostindien (Herb. of the late East Ind. Comp., no. 2723); Tenasserim und Andamanen (Kew distrib.).

13. *Loranthus pulverulentus* Wall.

Tafel VII, Figur 49—50.

Die Nervatur dieser zur Sektion *Cichlanthus* gehörigen Art ist der von *Loranthus longiflorus* ähnlich. An der breit-herzförmigen Gestalt im Verein mit der typischen *Loranthaceen*-Nervatur sind die Blätter leicht kenntlich.

Material: Ostindien, Malubar, Sikkim (Herb. Ind. or. Hook. f. et Thoms.); Burma (Herb. Hort. Bot. Calcuttens., no. 332).

---

[1]) v. Ettingshausen, Über die Blattskelette der Loranthaceen. Denkschr. K. Akad. d. Wissensch. Wien, math.-naturw. Klasse XXXII, 1871, S. 21.

Hamamelidaceae

14. *Altingia excelsa* Noronha.

Syn. *Liquidambar Altingia* Bl.

Tafel VIII, Figur 54—55.

Die sichere Bestimmung des Fossils ermöglichte die Erhaltung des durchschnittlich 2 cm langen, dünnen, deutlich vierkantigen Blattstieles.

Material: Ostindien, Ost-Himalaya (Herb. of the late East Ind. Comp., no. 3380); Assam (Griffith); Malaya (Herb. of the late A. C. Maingay, no. 1513); Khassia (Mann); Sumatra (Forbes, no. 1201 und 2181); Java (Zollinger, no. 3028, Warburg, no. 1701, 3338 und 11288).

Euphorbiaceae.

15. *Flueggea obovata* M. Arg.

Tafel VII, Figur 51—53.

Vgl. auch Tafel XXII, Figur 5.

Hierher gehören kleine eiförmige Blättchen mit annähernd parallelen, bogenläufigen Seitennerven.

Material: Ostindien (Herb. Wight, no. 2598); Ost-Himalaya (Herb. of the late East Ind. Comp., no. 915, 4835 und [Ost-Bengalen] 4836, Herb. Ind. or. Hook. f. et Thoms. [Bengalen], no. 1072); Perak (Herb. Hort. Calcuttens., no. 405 und 10987 sowie [Assam], no. 256); Flora of Burma, no. 1587; Martaban (Kurz); Khassia (Herb. Schlagintweit); Java (Zollinger, no. 218, Koorders, no. 27359, Elbert, no. 482); Manila (Wichura); Luzon (Jagor); Philippinen (Cuming, no. 899); China (Biondi); Hainan (Henry, no. 8004); Macao (Naumann); Australien (R. Brown); Iweers Island (F. Mueller).

16. *Cleistanthus myrianthus* Kurz.

Tafel IX, Figur 58—62.

Die Art ist durch lanzettliche Blätter und die annähernd parallel verlaufenden Seitennerven gut charakterisiert. Die Anastomosen verbinden, wie für die Euphorbiaceen charakteristisch, in transversaler Richtung die bogen- bis schlingenläufigen Sekundärnerven.

Material: Andamanen (Kings Collector); Java occid., Bantam (Teysman); Celebes, Tjamba (Teysman), Nord-Neu-Guinea (Exped. Wichmann i. J. 1903).

17. *Aporosa fruticosa* M. Arg.

Tafel IX, Figur 63—64; Tafel X, Figur 67—68.

Von der vorigen unterscheidet sich das Blatt dieser Art besonders durch die breiteren Basalinterstitien der Sekundärnerven.

Material: Singapore (Herb. Berlin); Java, Prov. Batavia (Koorders, no. 30970), Prov. Banyumas (Koorders, no. 39025).

18. *Mallotus moluccanus* M. Arg.

Syn. *M. Hellwigianus* K. Sch. sec. spec. orig.! *M. Hollrungianus* K. Sch. sec. spec. orig.! *Melanolepis multiglandulosum* Zoll. sec. spec. orig.!

Tafel VIII, Figur 56—57.

Vgl. auch Tafel XXII, Figur 6.

Das vorhandene ausgezeichnet erhaltene Blatt, an dem auch der wellig gezähnte Blattrand deutlich sichtbar ist, erinnert durch seine Basalnerven etwas an gewisse Sterculiaceen. Bei diesen jedoch sowie überhaupt bei der Gruppe der Columniferen (Tiliaceen, Malvaceen) finden sich an der Basis des Blattes nach abwärts verlaufende Tertiärnerven, während solche bei Mallotus nicht ausgebildet sind. Auch der steilere Lauf der Sekundärnerven ist für die Euphorbiaceen charakteristisch.

Den starken Unterschied zwischen der Ausbildung der Basalnerven zeigt am besten der Vergleich mit *Dombeyopsis Padangiana* Heer[1]) aus dem Tertiär von Sumatra; es sei an dieser Stelle erwähnt, daß sich diese unter den lebenden Arten am nächsten an *Dombeya cannabina* Bojer aus Madagaskar anschließt.

Material: Java (Herb. Hort. Bot. Bogor., no. 28912, Zollinger, no. 2466 = Melanolepis multiglandulosum Zoll.); Philippinen (Cuming); Manila (Wichura); Neu-Guinea (Hollrung = M. Hollrungianus et Hellwigianus K. Sch.).

Anonaceae.

19. *Uvaria zeylanica* L.

Tafel IX, Figur 65—66.

Mehrere kleine, schwach dorsiventrale Blättchen mit ausgerandeter Spitze und bogenläufigen Nerven stimmen mit dieser Art vollkommen überein.

Material: Ceylon (Thwaites, no. 1030).

20. *Uvaria Lamponga* Schaff.

Tafel X, Figur 69—72.

Bei dieser Art tritt der Typus des Anonaceenblattes besonders deutlich hervor; die fossilen Blätter decken sich vollständig mit den Blättern des lebend nur auf Sumatra bekannten Baumes.

Material: Herb. Hort. Bot. Bogor., no. 193; vgl. auch Jcones Bogor. II, 94.

21. *Uvaria purpurea* Bl.

Tafel XI, Figur 75—76.

Vgl. auch Tafel XXII, Figur 7.

Die charakteristischen großen Blätter sind denen von Uvaria hirsuta Jack. sehr ähnlich und unterscheiden sich von diesen in fossilem Zustande nur dadurch, daß die Seitennerven bei U. hirsuta mehr geknickt-bogenförmig sind.

---

[1]) Heer, Beiträge zur fossilen Flora von Sumatra, S. 19 (Tafel V, Figur 2).

Material: Ostindien (Herb. Hort. Calcuttens., no. 6485b), Herb. Mus. Perak, no. 18b; Penang (Pl. Wallich, no. 6485c); Hongkong (Naumann); Java (Blume, Herb. Hort. Bot. Bogor., no. 203, Elbert, no. 353).

22. *Melodorum manubriatum* (Wall.) Hook. f. et Thoms.

Tafel X, Figur 73—74.

Die schwache Asymmetrie, die sich namentlich bei Betrachtung der Basis zu erkennen gibt, läßt die kleinen Blätter als Anonaceen erkennen. Die zahlreichen, parallel verlaufenden Seitennerven sind, wie bei den Anonaceen die Regel, bogenläufig.

Material: Indien (Herb. Hort. Bot. Calcuttens., no. 11385 und [Perak], no. 5962); Malay. Penins., no. 4385; Philippinen (Cuming).

23. *Ellipeia cuneifolia* Hook. f. et Thoms.

Tafel XII, Figur 83—86.

Die Blätter dieser Anonacee kommen in zwei sehr verschiedenen Formen vor. Die gewöhnliche Ausbildung zeigt ein keilförmiges Blatt mit kurzer Spitze und Anonaceen-Nervatur wie Melodorum (Tafel XII, Figur 83—84). Daneben gibt es auch mehr lederartige Blätter mit wenigen dichten Nerven; man muß dies wissen, da man sonst beide Formen, die in derselben Gegend wachsen, nach den Blättern für verschiedene Arten halten würde. Es ist dies einer der seltenen Fälle, wo die sonst so konstante Dichte der Sekundärnerven sehr verschieden sein kann.

Material: Flora of the Malay. Penins., no. 5844; Perak, Larut (Kings Collect., no. 4623 und 7825); Beccari, Piante bornensi, no. 318.

24. *Unona discolor* Vahl.

Tafel XI, Figur 77—80.

Vgl. Tafel XXII, Figur 8.

Die größeren Blätter sind denen von Uvaria purpurea sehr ähnlich, unterscheiden sich jedoch durch die breiteren Basalinterstitien der Seitennerven.

Material: Perak (Herb. Hort. Calcuttens., no. 947, 7816 und 11397); Malabar (Hook. f. et Thoms.); Hongkong (Naumann); Cochinchina (Pierre, no. 192); China (Gaudichand); Hainan (Henry, no. 8526); Java (Horsfield, Herb. Hort. Bot. Bogor., no. 164); Borneo (Korthals).

25. *Polyalthia lateriflora* King.

Tafel XII, Figur 87—89; Tafel XXII, Figur 1—3.

Je nach Größe und Alter des Baumes variieren die Blätter beträchtlich. Die vorliegenden Fragmente gehörten linealoblongen Blättern an. Bei der sehr ähnlichen P. microtus Miq. sind die Seitennerven nicht so eng, sondern weiter voneinander entfernt.

Außer den Blattresten sind zweifellos hierher gehörige Kiesel- und Braunkohlenhölzer erhalten. Für den Querschliff sind, wie für die Anonaceen überhaupt, querverlaufende Parenchymbänder charakteristisch. Die Gefäßperforation ist einfach. Für die Artbestimmung ist das Vorhandensein von Gerbstoff in den Markstrahlen und Gefäßen, sowie in dem metatrachealen Holzparenchym von Wichtigkeit. Eine ausführliche Beschreibung des rezenten

Holzes hat Janssonius[1]) geliefert. Von den übrigen in Betracht kommenden Anonaceen unterscheidet sich Mitrephora Maingayi durch das Fehlen von Gerbstoffschläuchen und die wesentlich höheren tangentialen Markstrahlen; letzteres ist auch bei Unona discolor der Fall, ersteres bei Melodorum manubriatum. Bei Uvaria Lamponga und zeylanica kommt Gerbstoff nur spärlich in der Nähe der Gefäße vor, ferner sind die tangentialen Markstrahlen viel breiter, was auch für Uvaria purpurea gilt, die indes keinen Gerbstoff im Holzkörper führt.

Material: Indien, Perak (Herb. Hort. Bot. Calcuttens., no. 5161 und 6530, sowie [Larut], no. 1001; Sumatra (Exped. Gajoe en Alas Landen von Daalen, no. 163); Java (Blume).

26. *Mitrephora Maingayi* Hook. f. et Thoms.

Tafel XI, Figur 81—82.

Die charakteristischen Blätter sind im Gegensatz zu der sehr ähnlichen M. obtusa in eine mehr oder weniger lange Spitze ausgezogen.

Material: Malaiischer Archipel, Perak (Flora of the Malay. Penins., no. 1508, 6981, 8233 und 10359, Flora of Malay. Archipel, no. 3395).

Lauraceae.

27. *Tetranthera alnoides* Miq.

Syn. *Litsea polyantha* Juss.

Tafel XIII, Figur 94—96; Tafel XIV, Figur 101—102; Tafel XXVI, Figur 6—13.

Die erlenartigen Blättchen sind entweder fast rundlich (Tafel XIII, Figur 94—96) oder länglich-elliptisch (Tafel XIV, Figur 101—102), an der Spitze gewöhnlich stumpf.

Hierher gehört das Holz sämtlicher gesammelter Holzkohlen, bei denen teilweise auch noch das Mark vorzüglich erhalten ist. Der Radialschliff zeigt die für die Lauraceen[2]) bezeichnende leiterförmige Perforation der Gefäße, die deutlich gehöften Gefäßporen von polygonaler Gestalt und die aus hohen kurzen Kantenzellen, annähernd quadratischen Mittelzellen und radial gestreckten niedrigen Markstrahlzellen bestehenden Markstrahlen. Für Tetranthera alnoides ist das Fehlen von Sekretbehältern hervorzuheben, während bei T. salicifolia Sekretbehälter im Markstrahl anliegenden Parenchym auftreten, desgleichen bei Cylicodaphne cuneata und Dehaasia squarrosa, wo außerdem 1—2 reihige Markstrahlen vorkommen. Cryptocarya ferrea ist durch das Vorhandensein von Steinzellen im Mark verschieden.

Material: Java, Prov. Madiun (Koorders, no. 3183 und 10968).

---

[1]) Moll und Janssonius, Mikrographie des Holzes der auf Java vorkommenden Baumarten I, 1906, S. 129—134.

[2]) Vgl. hierüber Julius Schuster, Über ein fossiles Holz aus dem Flysch des Tegernseer Gebietes, Geognost. Jahresh. XIX, 1906, S. 142—149 und die dort zitierte Literatur.

28. *Tetranthera salicifolia* Rab.

Tafel VII, Figur 90—91; Tafel XIII, Figur 92—93.

Wie für die vorige Art die erlenförmigen Blätter, so ist hier die weidenartige Gestalt so kennzeichnend, daß bei dem Verlauf der Nerven an der Richtigkeit der Bestimmung nicht zu zweifeln ist.

Material: Manipur (G. Watt); Ostgrenze von Indien (no. 6188); Assam (Herb. Berlin).

29. *Cylicodaphne fusca* Bl.

Tafel XIII, Figur 97—98.

Durch die schmallanzettliche Gestalt sind diese Lauraceenblätter von der nachfolgenden Art leicht zu unterscheiden.

Eine ziemlich nahestehende Art, die nach der verdienstvollen Entdeckerin der Flora der Pithecanthropus-Schichten als *Cylicodaphne Lenorae Selenkae* n. sp. bezeichnet werden möge, findet sich fossil in dem Tongestein mit Blatt- und Fischabdrücken[1]) von Mandalasari oberhalb Nanggoeang mit Cinnamonum und Ficus spec. (Buitenzorg, Distr. Leuwiliang); nach der eingeschlossenen Flora und ihrer nahen Beziehung zur rezenten dürfte der Ton von Mandalasari pliozänes Alter haben.

Material: Sumatra (Forbes).



Cylicodaphne Lenorae Selenkae n. sp.
Java, Ton von Mandalasari
(Original zu Leiden).

30. *Cylicodaphne cuneata* Bl.

Syn. *Dehaasia cuneata* Bl.

Tafel XIII, Figur 99—100.

Dieser Lauracee sind in typischer Ausbildung keilförmig-verkehrt-eiförmige Blätter eigentümlich.

Material: Sumatra (Herb. Waitz); Borneo (Korthals).

31. *Dehaasia squarrosa* Miq. et Zoll.

Syn. *D. microcarpa* Bl.

Tafel XIV, Figur 103—104.

Die länglich-elliptischen Blätter gleichen denen der Anacardiacee Semecarpus, doch sind hier die Nerven nicht so steil-bogenförmig und die polygonalen Anastomosen kräftiger.

[1]) Barbus fossilis, ein dem rezenten Barbus hampal sehr nahestehender Süßwasserfisch (vgl. K. Martin, Sammlungen des Geolog. Reichsmuseums in Leiden III, 1883—87, S. 21.

Für Dehaasia squarrosa sind die bogenförmigen, vor dem Rand emporsteigenden oder bogenförmig verschmelzenden, nur durch spärliche Transversalanastomosen verbundenen Seitennerven sehr charakteristisch.

Material: Hort. Bot. Bogor. (Herb. Berlin).

32. *Cryptocarya ferrea* Bl. var. *oblongifolia* (Bl.) Meisn.
Syn. *C. oblongifolia* Bl.
Tafel XIV, Figur 105—106.

Die Blätter sind schwach-eiförmig-länglich und kurz zugespitzt, die Seitennerven ziemlich stark hervorspringend.

Material: Java (Hasskarl, Koorders, no. 14514, 28575 und 38468).

Dilleniaceae.

33. *Tetracera sarmentosa* (L.) Willd. var. *hebecarpa* (DC.) Hook. f. et Thoms.
Syn. *Delima sarmentosa* L.
Tafel XIV, Figur 107—110.

Die der Sektion Delima angehörige Art ist an ihren buchenähnlichen Blättern leicht kenntlich. Ein ähnliches Verhalten zeigt nur die Euphorbiacee Bridelia stipularis, doch sind hier die Seitennerven nicht so straff und nicht so stark hervorspringend. Manchmal zeigt einer der Seitennerven dichotome Verzweigung, die bei Dicotyledonenblättern sehr selten ist.

Material: Penang (Wallich, no. 6633); Siam (Pierre, no. 61 und 3272); Sumatra (Korthals); Java (Zollinger, no. 497); Celebes, Pangkadjene (Teysman).

Guttiferae.

34. *Garcinia dulcis* Kurz.
Syn. *G. dulcis* var. *silvestris* Boerl.
Tafel XV, Figur 111—112.

Die Art kennzeichnet sich durch länglich-elliptische, oben zugespitzte Blätter und bogenläufige Seitennerven, zwischen denen manchmal kürzere, nur etwa bis zur Mitte der Blattlamina gehende Nerven eingeschaltet sind.

Material: Java (Herb. Hort. Bot. Bogor., no. 93 culta!); Timor (Herb. Berlin).

35. *Garcinia Grahami* Pierre.
Tafel XV, Figur 113—116.

Von der vorigen ist diese Art hauptsächlich durch die länger ausgezogene Spitze verschieden. Eine der javanischen Arten kommt nicht in Betracht.

Material: A. Engler, Reise nach Java und Brit.-Ind., no. 4220.

36. *Mesua ferrea* Choisy.

Tafel XV, Figur 117—120.

Dieser Baum hat äußerst charakteristische Blättchen. Der Mittelnerv ist nämlich sehr stark entwickelt und tritt auf beiden Seiten kräftig hervor, während das Blatt im übrigen nervenlos erscheint, da die sehr dichten parallelen Seitennerven kaum aus der stark lederartigen Blattfläche heraustreten.

Material: Ostindien (Herb. of the late East Ind. Comp., no. 485, Herb. Wight, no. 133, Herb. Hort. Calcuttens., no. 67, 431, 523 und 6662, Hohenacker, Arznei- und Handelspflanzen, no. 591); Ceylon (Thwaites, no. 602); Hinterindien, Siam (Zimmermann); Malaiischer Archipel (Zollinger, no. 1054).

Dipterocarpeae.

37. *Hopea fagifolia* Miq.

Syn. *H. Hasskarliana* Heim; *Petalandra micrantha* Hassk;
Doona micrantha (Hassk.) Burck.

Tafel XV, Figur 121—122.

Die breit-eiförmig-elliptischen Blätter der zur Sektion Petalandra gehörigen Art sind in eine lange Träufelspitze ausgezogen, die Seitennerven sind aufrecht abstehend und vor dem Rand leicht bogenförmig.

Burck[1]) stellt die Art auf Grund anatomischer Erwägungen — wegen des Vorhandenseins eines Systems anastomosierender Sekretkanäle im Mark des Stengels — zu der Gattung Doona; sie würde dann Doona micrantha (Hassk.) Burck = Petalandra micrantha Hassk. heißen. Dieser von Burck vorgenommenen Gattungsversetzung steht aber der Bau der Blüten, Früchte und Samen entgegen, die bei Doona sehr charakteristisch und von derjenigen der Hopea-Aarten vollständig verschieden ist. Sie ist daher am besten bei Hopea zu belassen, kann aber dann nicht Hopea micrantha heißen, da sie nicht mit der auf Borneo und in Cambodja vorkommenden Hopea micrantha Hook. identisch ist.

Material: Tenasserim (Herb. Kunth); Malaga (Kew. Distrib., no. 206, teste Maingay); Sumatra (Forbes, no. 3012); Java (Novara-Exped.).

38. *Vatica lancaefolia* Miq.

Syn. *Retinodendron lancaefolium* Korth.
nec. *Vateria lanceolata* Roxb.!; nec. *Stemonaporus lanceolatus* Thw.!

Tafel XXVI, Figur 123—126.

Die Art, die von den auf Java wachsenden verschieden ist, hat länglich-eiförmige, schwach-dorsiventrale Blätter mit aufrecht abstehenden, bogenförmig verlaufenden Seitennerven, die durch Transversalanastomosen verbunden sind.

Material: Flora of the Chittagong Hill Tracts, no. 320 und 540; Birma, Herb. of the late East Ind. Comp., no. 412; Flora von Assam (Herb. Berlin).

---

[1]) Burck, Sur les Diptérocarpées des Indes néerlandaises. Ann. Jard. Bot. Buitenzorg VI 1887, S. 234.

Sterculiaceae.

39. *Reevesia Wallichii* R. Br.

Tafel XXIV, Figur 5—6.

Eine ausführliche Beschreibung des Holzkörpers dieser Art, von der nur Kieselhölzer vorliegen, findet sich bei Moll und Janssonius[1]), aus dessen Angaben zugleich hervorgeht, daß die Pflanze, deren Hauptverbreitung auf dem indischen Festland liegt, auch auf Westjava vorkommt.

Der Querschliff (Tafel XXIV, Figur 5—6) zeigt in regelmäßigen Abständen dunkler gefärbte Zonen stark zusammengeschobener, jedoch nicht erweichter Zellen, während die Markstrahlen nach Art einer Tangenskurve gebogen sind. Diese eigenartige und regelmäßige Bildung erfolgte ursprünglich durch einen zweiseitigen Druck auf die zylindrische Achse und einen gleichzeitigen Druck parallel zu dem Stammquerschnitt, der die Ablenkung der Holzzellen noch verstärkte. Diese Drucksuturen, wie ich sie nennen will, entstehen an denjenigen Stellen des Holzes, wo Unstetigkeiten in den Holzzellen vorhanden waren und sind hinsichtlich ihrer Form von der Verteilung und Weite der Gefäße, dem Vorhandensein oder Fehlen der Jahresringe, der Verteilung der Holzelemente und Markstrahlen abhängig, weshalb anatomisch ähnlich gebaute Hölzer, auch wenn sie systematisch nicht näher verwandt sind, entsprechende Drucksuturen aufweisen. Ich habe schon früher[2]) einen derartigen Fall bei einem Koniferenholz aus dem Karbon näher beschrieben, neuerdings hat Jaccard[3]) auf experimenteller Grundlage umfangreiche Untersuchungen über die Wirkung des Druckes auf die Holzstruktur ausgeführt, die ihn zu denselben Ergebnissen führten.

Material: Ostindien, Berg Pundua (Wallich); Khassia (Schlagintweit).

Rutaceae.

40. *Feronia elephantum* Corea.

Tafel XVI, Figur 127—132.

Von den kleinen verkehrt-eiförmigen Blättchen fand sich nichts, wohl aber ein sehr gut erhaltener Rest der orangenartigen Frucht mit anhaftenden verkohlten Fragmenten des derben Epikarps samt den schizogenen Öllücken. Feronia hat bekanntlich abweichend von allen Rutaceen ein synkarpes Gynoeceum mit parietalen Plazenten, der Fruchtknoten ist ursprünglich fünffächerig, später sind die Samenanlagen regellos über das ganze Fruchtfleisch verteilt.

Material: Ostindien (Wight, no. 330 und 382); Koromandel (Macé).

---

[1]) Mikrographie des Holzes der auf Java vorkommenden Baumarten II, 1908, S. 453—457.

[2]) Julius Schuster, Kieselhölzer der Steinkohlenformation und des Rotliegenden aus der bayerischen Rheinpfalz. Geogn. Jahresh. XX, 1907, S. 4, Tafel I, Figur 3.

[3]) Jaccard, Étude anatomique de bois comprimés. Mitt. schweizer. Zentralanst. f. d. forstl. Versuchswesen X, 1. Heft, 1910.

Meliaceae.

41. *Aglaia palembanica* (Miq.) C. DC.

Syn. *Aglaia Harmsiana* Warb. sec. spec. orig.!

Tafel XVII, Figur 133—134.

Diese wenig bekannte Art ist leicht an dem geschweift-gezackten Blattrand zu erkennen.

Material: Malaiische Halbinsel, Perak (Herb. Mus. Perak, no. 1783, Herb. Hort. Calcuttens., no. 8830 und [Penang], no. 1790); Java (Engler, Reise nach Java und Brit.-Ind., no. 4181, Herb. Hort. Bot. Bogor., no. 379, Hochreutiner, Pl. Bogor. exsicc. nov. vel minus cogn., no. 139); Sumatra (Forbes, no. 1218 A); Borneo (Korthals); Philippinen, Luzon (Warburg, no. 13104, 13107 und 14292).

42. *Aglaia odorata* Lour.

Tafel XVII, Figur 135—136.

Von der vorigen ist diese Art durch die verkehrt-eiförmige Form und den kaum geschweiften Rand des Blattes verschieden.

Material: Ostindien (Griffith); Siam, Bangkok (Zimmermann, no. 155); Hainan (Henry, no. 8673); China (Meyen, Warburg, no. 5196); Java (Hoffmannsegg, Busse, Reise nach Java, no. 1703; Engler, Reise nach Java und Brit.-Indien, no. 3870); Philippinen, Manila (Wichura); Amboina (Lesson, Warburg, no. 1961).

Papilionaceae.

43. *Cassia alata* L.

Tafel XIX, Figur 157—158.

Das fossile Blatt gehört einem der beiden endständigen Fiederchen an; die Seitenfiederchen dieser zu Sektion Chamaesenna gehörigen Art haben gerade, parallele Ränder.

Außer einem sehr gut erhaltenen Endfiederchen liegt auch ein in Holzopal umgewandeltes Stammstück vor. Dieses erinnert durch seine breiten Markstrahlen sehr an gewisse Sterculiaceenhölzer, doch sind bei diesen die Holzfasern stets hofgetüpfelt, während sie bei den Leguminosen einfach getüpfelt sind[1]). Die näheren Details traten nicht nur auf Dünnschliffen sondern auch Kollodiumabdrücken sehr deutlich hervor; namentlich die Anwendung der letzteren nach der von Buscalioni[2]) angegebenen Methode liefert sehr gute Bilder (Tafel XXIV, Figur 3).

Das parasitisch in einigen Gefäßen wuchernde Pilzmyzel wurde schon früher erwähnt.

Material: Ostindien (Wight, no. 855), Bangkok (Zimmermann, no. 26); Java (Zollinger, no. 2, Warburg, no. 47907, Herb. Hort. Bot. Bogor., no. 24, 197 und 17573, Koorders, no. 17573 und 19724, Elbert, no. 389); Timor, Bergwälder am Taimanani (leg. Naumann); Brasilia (Sellow, Herm. Meyer, Iter II bras., no. 303); Minas Geraës (Regnell, no. 476); Spencer Moore, Iter Matogrossense, no. 967; K. Fiebrig, Pl. paraguayenses, no. 872; Flora of the Lower Orinoco, no. 19; L. Hahn, Pl. de la Martinique, no. 223; Guiana (Schomburgk), Deutsche Caura-Expedit., no. 712 und 795 (venezolanisch. Guiana); Flora Cubana, no. 673; Haiti (Ehrenberg).

[1]) Siehe Julius Schuster, Über Nicolien und Nicolien ähnliche Hölzer. Kungl. Svenska Vetenskapsakademiens Handl. 45, no. 6, 1910, S. 6.

[2]) L. Buscalioni e P. Vinassa de Regny, Le pellicolo di collodio nello studio dei fossili et dei minerali. Atti Accademia Gioenia di Scienze Naturali, Ser. 5a, Vol. III.

44. *Saraca minor* Miq.

Tafel XVII, Figur 137—138.

Die Blätter sind namentlich durch die ausgerandete Spitze gekennzeichnet. Die Seitennerven verlaufen aufrecht-bogenförmig.

Material: Perak (Herb. Hort. Calcuttens., no. 2382 und 4059); Siam, Bangkok (Zimmermann, no. 61, det. Harms); Koh-Chang (Dänische Siam-Exped. leg. Schmidt); Java (Elbert, no. 486).

45. *Indigofera tinctoria* L.

Tafel XVIII, Figur 155—156.

Einige Seitenfiederchen der Indigopflanze liegen vor und beweisen, daß diese schon in alter Zeit wild auf Java wuchs; die Heimat dürfte der ganzen Verbreitung nach im Himalayagebiet zu suchen sein.

Material: Ostindien (Wight, no. 642); Japan (Herb. Berlin); Java (Zollinger, no. 77 und 1396, Warburg, no. 12435, 14673 und 14876); Insel Sokotra (leg. Schweinfurth, Expedition Riebeck, no. 283).

46. *Deguelia (Derris) elliptica* Benth.

Syn. *Pongamia volubilis* Mor. et Zoll.

Tafel XVII, Figur 139—142; Tafel XVIII, Figur 143—154.

In den häufigsten Fossilien von Trinil gehören verkehrt-eiförmig-längliche bis elliptische ganzrandige Blättchen von verschiedener Größe, die äußerst variabel sind, sich jedoch bei genauerer Untersuchung als Deguelia elliptica herausstellen. Bei flüchtiger Betrachtung scheinen diese vielgestalteten Blätter den verschiedensten Pflanzenarten zu entsprechen. So könnte man an Myrsine, etwa M. semiserrata Wall., denken, doch sind hier stark hervorspringende Anastomosen in Form kleiner Polygone vorhanden, auch verlaufen die Nerven nicht so parallel, was eher an ein Anonaceenblatt erinnern könnte; die Anonaceen sind jedoch an der Dorsiventralität des Blattes und den transversal verlaufenden Anastomosen leicht kenntlich. Auch die äußerlich ähnlichen Ixora-Arten, etwa Ixora Timoaensis Desc., haben viel mehr und kleinere polygonale Anastomosen, die stark hervortreten; ferner sind hier die Nerven enger und, wie bei Myrsine, bogenläufig. Was endlich zwei andere Papilionaceen betrifft, an die noch gedacht wurde, nämlich *Desmodium gyroides* DC. und *Uraria lagopoides* DC., so haben diese bei eingehenderer Vergleichung kaum nähere Beziehungen zu den Fossilien; Uraria lagopoides hat viel breitere ovale Blätter und ist an dem deutlich abgesetzten Spitzchen leicht kenntlich.

Muß es also schon auf Grund des fossilen Blattmateriales als vollkommen gesichert gelten, daß nur die Liane Deguelia elliptica in Betracht kommt, so wird dies überdies außer allen Zweifel gesetzt durch den Fund einer wohlerhaltenen Hülse (Tafel XXVII, Figur 139—140). Diese ist lederartig, lanzettlich, beiderseits scharf gerandet, an der samentragenden Naht schmal geflügelt und enthält drei Samen.

Material: Herb. Mus. Perak, no. 1678 und 1738a; Siam, Bangkok (Schomburgk, no. 142 und no. 1858); Java (Zollinger, no. 325, Herb. Hort. Bot. Bogor., no. 19762, Warburg, no. 20287—88); Ceram-Land (Warburg, Pl. Papuanae, no. 20288); Neu-Hannover (Naumann).

Melastomaceae.

47. *Memecylon floribundum* Bl.

Syn. *M. tinctorium* Bl.

Tafel XX, Figur 161—163.

Die schmalen, eiförmig-länglichen Blätter sind sehr dick lederartig, so daß fast nur der Mittelnerv sichtbar ist, während die spärlichen schief aufsteigenden Seitennerven kaum zu erkennen sind.

Material: Java (Zollinger, no. 1590 = M. tinctorium Bl., Koorders, no. 26928; Philippinen (Cuming, no. 2322).

48. *Memecylon myrsinoides* Bl.

Tafel XX, Figur 164—166.

Von der vorigen ist diese Art durch die breiten, elliptisch-eiförmigen, stumpf zugespitzten Blätter verschieden; auch hier sind die spärlichen, schräg aufsteigenden Seitennerven infolge der lederartigen Beschaffenheit des Blattes kaum sichtbar. Dadurch sieht das Blatt wie ein Loranthus aus und es gibt auch in Ostindien eine Art Loranthus memecylifolius W. et Arn.[1]), doch hat diese schmälere Blätter.

Material: Perak (Herb. Hort. Calcuttens., no. 5923 und 10447); Java (Zollinger, no. 187, Elbert, no. 488).

Araliaceae.

49. *Polyscias pinnata* Forst.

Tafel XIX, Figur 159—160.

Die durch sehr große ganzrandige oder mit entfernten Zähnchen besetzte Blätter ausgezeichnete Art kommt in zwei Formen vor, einer großfrüchtigen und einer kleinfrüchtigen. Beide wurden je nach der Zahl der Samenanlagen in eine Anzahl von Arten gespalten, die sich indes, da bei jeder 2—5 Samenanlagen vorkommen können, nicht aufrecht halten lassen. Ich unterscheide demnach

A. var. microcarpa nov. nom.; Früchte 2—4 mm (4 mm Maximum!)
Syn. Panax pinnatum Lk.;
Polyscias Cumingii (Presl) Harms;
Polyscias Rumphiana Harms;
Polyscias javanica K. et V.

B. var. microcarpa nov. nom.; Früchte 4—8 mm (4 mm Minimum!)
Syn. Aralia Naumanni E. Marchal;
Panax Minghette Vieill.;
Polyscias cochleata (Laur.) Harms.

Auch hierher gehörige Holzkörper in verkieseltem Zustande und in Braunkohle verwandelt liegen vor. Das Holz (Tafel XXVII, Figur 1—6) ist durch einfache Tüpfelung der Gefäßwand gegen das Markstrahlparenchym und durch einfach getüpfelte Holzfasern charakterisiert, die Markstrahlen sind breit und auf dem Tangentialschnitt ziemlich hoch.

[1]) Vgl. über diese Art v. Ettingshausen, Über die Blattskelette der Loranthaceen, l. c. S. 13.

Material: var. microcarpa: Celebes, Minahassa (Herb. Koorders, no. 15098); Philippinen, Luzon (Jagor, no. 742, Cuming, no. 1553 = Polyscias Cumingii); Neu-Guinea (Warburg, no. 20451 und 20457); Kaiser Wilhelmsland, Tami-Inseln (Bamler); Nyman, Pl. e Nova-Guinea, no. 23 = Polyscias Rumphiana Harms, Kaiser Wilhelmsland, Konstantinhafen (Hollrung, no. 479); Neupommern, Ralum (Lauterbach, no. 195); Neumecklenburg (Warburg, no. 20452); Neubritannien (Gazellen-Expedit. leg. Naumann, Warburg, no. 20450 — var. microcarpa: Neu-Caledonien, Südbezirk (Le Rat), Pl. Schlechterianae, no. 15627 auf den Bergen bei Ou-Hinna; Bismarck-Archipel (Warburg, no. 20454, leg. Parkinson = Aralia Naumanni); Neu-Guinea (Warburg, no. 20453 = Polyscias cochleata); Nat. Herb. of New South Wales, no. 14.

Bemerkung: Panax pinnatum aus Ostindien gehört nach den Materialien des Leidener Herbars zu Polyscias hederaefolia Wight!

Borraginaceae.

50. *Cordia aff. suaveolens* Bl.

Tafel XXV, Figur 1—2; Tafel XXVI, Figur 15.

Wenn auch von den Blättern dieser Pflanze fossil nichts erhalten ist, so liegen doch mehrfach Kieselhölzer vor, die mit den Eigenschaften der Lianen die Kennzeichen der Borraginaceen verbinden und hieher zu stellen sind. Das Holz der Cordieen, die eine selbständige Abteilung der Borraginaceen bilden, ist durch die einfache Gefäßperforation und die einfach getüpfelten Holzfasern gut charakterisiert. Von den in Betracht kommenden Arten stimmt am meisten Cordia suaveolens überein, doch genügt hier der anatomische Bau des Holzes wegen der großen Ähnlichkeit der einzelnen Arten nicht zur absolut sicheren Bestimmung der Spezies.

Material: Java (Zollinger, no. 1457, Koorders, no. 12941).

Loganiaceae.

51. *Fagraea litoralis* Bl.

Tafel XX, Figur 167—168; Tafel XXI, Figur 170—171.

Die verkehrt-eiförmigen Blätter sind entweder in eine kurze Spitze ausgezogen oder ausgerandet. Letztere erinnern an die Blattformen mancher Tetranthera-Arten, doch zeigen die Fossilien deutlich ein sehr stark lederartiges Blatt, bei dem die schräg aufsteigenden Seitennerven kaum sichtbar sind, während Tetranthera wie alle Lauraceen durch seine zahlreichen Anastomosen leicht zu erkennen ist.

Zu der Gattung Fagraea gehört auch ein von Goeppert[1]) abgebildetes Blattfragment aus dem Miozän von Java, daß einen genabelten Pilz auf der Blattfläche zeigt, den Goeppert Xylomites stigmariaeformis nennt. Es ist bemerkenswert, daß eine zu den Fungi imperfecti gehörige, gut übereinstimmende Pilzform auf den Blättern von Fagraea Khasiana Benth. aus Ostindien vorkommt, ein Beweis, wie alt die Spezialisierung dieser parasitischen Pilze ist; im Zusammenhang damit ist es auch von Interesse, daß sich die miozäne Fagraea, die als *Fagraea tertiaria* bezeichnet werden möge, am nächsten an die rezente Wirtspflanze des betreffenden Pilzes, Fagraea Khasiana anschließt.

Material: Engler, Reise nach Java und Brit.-Ind., no. 4243.

[1]) Goëppert, Die Tertiärflora auf der Insel Java, 1857, S. 34, Tafel IV, Figur 27.

Apocyneae.

52. *Willughbya apiculata* Miq.

Tafel XXI, Figur 172–173.

Diese Art unterscheidet sich von der ihr sehr nahestehenden Willughbya firma durch die dünneren Seitennerven und die in der Mitte gelegene größte Breite des Blattes.

Material: Sumatra (de Vriese, det. Stapf, Herb. Leiden).

Caprifoliaceae.

53. *Viburnum coriaceum* Bl.

Tafel XXI, Figur 174–175.

Die Art könnte höchstens mit Viburnum sundaicum Miq.[1]) (Tafel XXI, Figur 176) verwechselt werden. Bei dieser ist jedoch der Blattrand stets kurz gezähnt, das Blatt nicht lederartig, die Seitennerven dünn. Viburnum coriaceum ist durch die stark hervorspringenden charakteristischen Seitennerven nicht zu verkennen.

Material: Ost-Himalaya (Herb. of the late East Ind. Comp., leg. Griffith); Ostindien, Sikkim (Herb. Berlin); Flora of Manipur, Ostgrenze von Indien, no. 5958, leg. Watt; China, Yunnan (Henry, no. 9797); Sze ch'uan, Nan ch'uan (Centralchina), A. v. Rosthorn, no. 117; Java (Koorders, no. 1043, 3264 und 15616, Forbes [Südost-Java], no. 954, Elbert, no. 15—18 incl.).

Monocotyledones.

Cyperaceae.

54. *Cyperus* spec.

Tafel XXI, Figur 177—179.

Verkohlte Reste von Monokotyledonen mit grasartigen Blättern sind in allen Teilen der Pithecanthropus-Schichten überaus häufig. An aufgehellten Präparaten zeigte sich daß Gramineen nicht in Betracht kommen, ebensowenig Equisetum-Arten wie Equisetum debile. Bei der Vergleichung anderer Familien, namentlich der Lilifloren, Commelinaceen, Juncaceen und Cyperaceen zeigte sich, daß die Cyperaceen mit den fraglichen Resten vollkommen übereinstimmen und zwar die Gattung Cyperus selbst, da Fimbristylis wegen der Sekretzellen und des gezackten Parenchyms ausgeschlossen ist. Natürlich ist es bei den zahlreichen Spezies nicht möglich, die Reste auf eine bestimmte Cyperus-Art zu beziehen, jedenfalls können sie nicht anders als Cyperusblätter gedeutet werden.

III.
Charakter der fossilen Flora und deren Beziehung zur rezenten Vegetation.

Bevor ich versuche die Flora der Pithecanthropus-Schichten, wie sie sich aus den besprochenen, immerhin nicht wenigen Resten ergibt, zu analysieren, um daraus Schlüsse auf die damaligen klimatischen Verhältnisse zu ziehen, seien die Ergebnisse der systematischen Bearbeitung zur besseren Übersicht in tabellarischer Form wiedergegeben.

---

[1]) Syn. V. lutescens Bl., V. coriaceum Zoll. no. 2496 sec. spec. orig.!

Familie	Art	Allgemeine Verbreitung der Art	Höhe in m
Fungi.			
Hyphomycetes	cf. *Hyphomycetes* spec.	—	—
Dicotyledones.			
Fagaceae	*Castanopsis* (*Castanea*) *Curtisii* King	Malaiische Halbinsel, Borneo	300
Moraceae	*Streblus asper* Lour.	Ostindien bis Siam, Sumatra, Philippinen, Molukken	50—1000
,,	*Artocarpus rigida* Bl.	Malaiische Halbinsel, Sumatra, Borneo	150—450
,,	*Artocarpus* cf. *altissima* J. J. Smith	Sumatra	und höher
,,	*Ficus indica* L.	Ostindien bis Java, Philippinen	50—1000
,,	*Ficus retusa* L.	Ost-Himalaya bis Formosa, Sumatra, Borneo, Celebes, Philippinen, Neu-Guinea, Neu-Caledonien	20—1500
,,	*Ficus infectoria* Roxb. (s. auch S. 15)	Khassigebirge bis Neu-Guinea	50—1500
,,	— — var. *Wightiana* King	Ostindien bis Japan	1200
,,	*Ficus callosa* Willd.	Ostindien bis Celebes, Timor	10—1000
,,	*Ficus variegata* Bl.	Ostindien bis China, Celebes, Molukken	10—1500
Loranthaceae	*Loranthus longiflorus* Desv.	Himalaya bis Australien	0—2250
,,	*Loranthus elasticus* Desv.	Ostindien bis Malaiische Halbinsel	—
,,	*Loranthus pulverulentus* Wall.	Himalaya bis Malaiische Halbinsel	600—1200
Hamamelidaceae	*Altingia* (*Liquidambar*) *excelsa* Noronha	Ost-Himalaya bis Yunnan, Sumatra	600—1200
Euphorbiaceae	*Flueggea obovata* M. Arg.	Himalaya bis China und Australien, Afrika	150—1500
,,	*Cleistanthus myrianthus* Kurz	Malaiische Halbinsel bis Neu-Guinea	50—200
,,	*Aporosa fruticosa* M. Arg.	Malaiische Halbinsel bis Java	10—800
,,	*Mallotus moluccanus* M. Arg.	Ostindien, Java bis Neu-Guinea	50—1500
Anonaceae	*Uvaria zeylanica* L.	Malabar, Travancore, Ceylon	900
,,	*Uvaria Lamponga* Scheff.	Sumatra	—
,,	*Uvaria purpurea* Bl.	Malaiische Halbinsel bis Hongkong und zu den Philippinen	100—150 und höher
,,	*Melodorum manubriatum* (Wall.) Hook. f. et Thoms.	Malaiische Halbinsel und Philippinen	150—240 und höher
,,	*Ellipeia cuneifolia* Hook. f. et Thoms.	Malaiische Halbinsel, Borneo	150—300 und höher
,,	*Unona discolor* Vahl	Ostindien bis China, Borneo, Celebes	10—500 und höher
,,	*Polyalthia lateriflora* King	Malaiische Halbinsel, Sumatra, Celebes	30—1200
,,	*Mitrephora Maingayi* Hook. f. et Thoms.	Malaiische Halbinsel, Java, Borneo (Kinabalu)	150—900

Vorkommen der Art in dem der Fundstelle der Fossilien zunächst liegenden Gebiete bzw. Java	Bemerkungen über die fossile Art, ihr Vorkommen und ihre relative Häufigkeit	Bemerkungen über die rezente Art
—	Pilzmyzel, parasitisch in den Gefäßen eines in Holzopal umgewandelten Stammstückes von *Cassia alata* L. (siehe diese)	—
—	Hauptblätterschicht, häufig, verkohlter Fruchtbecher (cupula) einmal	Baum vom Habitus der Eichen
Java; Vulkan Pandan 400—900 m	Hauptblätterschicht, mehrfach	immergrünes Bäumchen des gemischten Urwaldes (Boden feucht)
Java; nur im westlichen Teil	„ „	immergrüner Baum
—	„ ein verkohlter männlicher Blütenstand	—
Java; im westlichen und mittleren Teil	Hauptblätterschicht, mehrfach	großer Baum des gemischten Urwaldes
Java; Pandan 500 m, Vulkan Lawu-Kukusan 1200—1400 m	„ „	großer immergrüner Baum
Java; Madiun, Mahoenggebirge 750 m	„ „	kleiner laubabwerfender Baum
—	„ einmal	Festlandsform der Bergwälder
Java; im gemischten aus 400 Arten bestehenden Urwald	„ mehrfach, auch Kieselhölzer	großer Baum
Java; Pandan 400—900; nicht über 1500 m	Hauptblätterschicht, einmal	besonders in feuchtem und kühlem Klima, gerne mit Altingia, großer Baum
Java; Trinil 100—150 m	„ „	Epiphyt
—	„ „	„
—	„ „	„
Java; fehlt in Mitteljava (nicht unter 600 m)	„ „	Baum mit säulenförmigem Stamme, bildet die Region der Rasamalabäume
Java; Pandan 400—900 m	„ mehrfach	Strauch
Java	„ „	immergrüner Baum
Java	„ „	immergrünes Bäumchen
Java	„ einmal	kleiner immergrüner Baum
—	„ mehrfach	—
—	„ „	Baum
Java; Trinil 100—150 m	„ einmal	—
—	„ „	—
—	„ mehrfach	—
Java	„ „	—
Java; an den verschiedensten (feuchten und trockenen) Standorten	„ „ auch Braunkohlen- und Kieselholz, letzteres auch in der Hauptknochenschicht	immergrüner 30 m hoher Baum
—	Hauptblätterschicht, mehrfach	—

Familie	Art	Allgemeine Verbreitung der Art	Höhe in m
Lauraceae	*Tetranthera alnoides* Miq.	Himalaya (1200 m) bis China (in Mauritius eingeführt)	900—1500
„	*Tetranthera salicifolia* Roxb.	Malaiische Halbinsel	bis 1800
„	*Cylicodaphne fusca* Bl.	Sumatra	—
„	*Cylicodaphne cuneata* Bl.	Sumatra, Borneo	—
„	*Dehaasia squarrosa* Miq. et Zoll.	Java (endemisch)	—
„	*Cryptocarya ferrea* Bl. var. *oblongifolia* (Bl.) Meisn.	Malaiische Halbinsel und Java	500
Dilleniaceae	*Tetracera sarmentosa* (L.) Willd var. *hebecarpa* (DC.) Hook. f. et Thoms.	Ostindien bis Siam, Sumatra, Celebes	—
Guttiferae	*Garcinia dulcis* Kurz	Andamanen, Celebes, Molukken, Timor	20—500
„	*Garcinia Grahami* Pierre	Borneo	—
„	*Mesua ferrea* Choisy	Himalaya bis Siam	1300—1500
Dipterocarpeae	*Hopea fagifolia* Miq.	Malaiische Halbinsel, Sumatra, Bangka	20—500
„	*Vatica lancaefolia* Miq.	Himalaya bis Malaiische Halbinsel	120—1200
Sterculiaceae	*Reevesia Wallichii* R. Br.	Khassigebirge, Indien, Ost-Himalaya	900—1350
Rutaceae	*Feronia elephantum* Corea	West-Himalaya, Ceylon, Vorderindien	300—900
Meliaceae	*Aglaia palembanica* (Miq.) C. DC.	Malaiische Halbinsel, Sumatra, Borneo, Philippinen	300—450 und höher
„	*Aglaia odorata* Lour.	Ostindien bis China, Philippinen, Amboina	—
Papilionaceae	*Cassia alata* L.	Ostindien bis Timor, Brasilien, Cuba, Haiti, Martinique, in den Tropen kosmopolitisch	360 und höher
„	*Saraca minor* Miq.	Himalaya bis Siam, Ceylon, Malakka, Sumatra	150—700
„	*Indigofera tinctoria* L.	Ostindien bis Japan	—
„	*Deguelia (Derris) elliptica* Benth.	Malaiische Halbinsel bis Siam und Neu-Guinea	50 und höher
Melastomaceae	*Memecylon floribundum* Bl.	Java (bisher für endemisch gehalten!), auch Philippinen	25—900
„	*Memecylon myrsinoides* Bl.	Malaiische Halbinsel, Java	200—450
Araliaceae	*Polyscias pinnata* Forst.	Kei-Inseln, Neu-Guinea, Neu-Caledonien, Celebes, Philippinen — australisches Element!	600—1100
Borraginaceae	*Cordia* aff. *suaveolens* Bl.	Java (endemisch)	5—500
Loganiaceae	*Fagraea litoralis* Bl.	Ostindien, Java, Celebes, Molukken	10—700
Apocyneae	*Willughbya apiculata* Miq.	Sumatra	—
Caprifoliaceae	*Viburnum coriaceum* Bl.	temperierter Himalaya bis Zentral-China (Sze ch'uan), Sumatra, Java	1200—2700
Monocotyledones.			
Cyperaceae	*Cyperus* spec.	—	—
Unbestimmter Herkunft.			
Kopal (von bernsteinartiger Beschaffenheit)	—	—	—

Vorkommen der Art in dem der Fundstelle der Fossilien zunächst liegenden Gebiete bzw. Java	Bemerkungen über die fossile Art, ihr Vorkommen und ihre relative Häufigkeit	Bemerkungen über die rezente Art
Java; in einer Höhe von 1500 m	Hauptblätterschicht, häufig, sowie sämtliche Holzkohlen	kleiner Baum
—	„ mehrfach	—
—	„ einmal	—
—	„ „	—
Java	„ „	kleiner Baum
Java	„ „	kleiner Baum des gemischten Urwaldes
Java	„ mehrfach	—
Java	„ einmal	immergrüner 12 m hoher Baum
—	„ mehrfach	—
Auf Java ausgestorben	„ „	kleiner Baum feuchten Bodens
Java	„ einmal	hoher Baum sehr feuchter Urwälder
—	„ mehrfach	—
—	Kieselholz, Hauptknochenschicht	—
Auf Java nur verwildert	Frucht, Hauptknochenschicht, einmal	vielfach kultiviert (z. B. in Cairo), kräftiger Baum
—	Hauptblätterschicht, einmal	10 m hoher Baum
Java	„ mehrfach	Strauch feuchter Böden
Java; Trinil 100—300 m	„ einmal, auch Opalholz aus der obersten roten Aschenschicht	holzartige Staude der Bergwälder
Java; Pandan 400—900 m	Hauptblätterschicht, einmal	12 m hoher Baum feuchter Böden
—	„ mehrfach	—
Java	„ häufig, auch eine Hülse	Kletterstrauch
Java	Hauptblätterschicht, mehrfach	baumartiger Strauch
Java; Pandan 400—900 m	„ „	„ „ lauabwerfend
Ostjava; Rahoen-Idjen Plateau 1100 m	„ einmal, auch Kiesel- und Braunkohlenholz in der Hauptknochenschicht	baumartiger Strauch
Java	Kieselholz, Hauptblätterschicht	blattabwerfendes Bäumchen
Java	Hauptblätterschicht, mehrfach	immergrüner Kletterstrauch (Subepiphyt!)
—	„ „	Kautschukliane
Java; Madiun 1400—2000 m; Kendil 1500 bis 1600 m; Vulkan Kukusan 1200 bis 2600 m	„ einmal	Charakterpflanze der höheren konstant feuchten Bergregion; kleiner Baum
ähnlich verschiedene Cyperus-Arten, z. B. *Cyperus dilutus*, Trinil 100—150	Häufig in der Hauptknochen- und Hauptblätterschicht, sowie in der sehr harten Ton- und Aschenschicht	—
—	Aus den Tonbänken über der Hauptknochenschicht — enthält weder freie noch gebundene Bernsteinsäure	—

Aus dieser Zusammenstellung geht in erster Linie hervor, daß sämtliche fossilen Pflanzen der Trinil-Schichten heute noch leben, so daß man zunächst glauben könnte, man habe es mit einer sehr jungen Ablagerung zu tun. Daß dies nicht der Fall ist, zeigt ein Blick auf die heutige geographische Verbreitung der Arten, welche in der folgenden Übersicht dargestellt ist (die nur annähernd bestimmten Arten sind eingeklammert):

A. Pflanzen mit ausgesprochener Verbreitung vom indischen Festland nach Osten.

I. Arten, die von Ostindien bis Melanesien — Neu-Guinea bzw. Neu-Caledonien — gehen: *Streblus asper*, *Ficus retusa*, *F. variegata*, *F. infectoria* var. *genuina*, *F. callosa*, *Loranthus longiflorus*, *Flueggea obovata*, *Cleistanthus myrianthus*, *Mallotus moluccanus*, *Garcinia dulcis*, *Aglaia odorata*, *Cassia alata*, *Deguelia elliptica*, *Fagraea litoralis*.

II. Arten, die auf den Philippinen ihre Ostgrenze erreichen: *Ficus indica*, *Uvaria purpurea*, *Melodorum manubriatum*, *Aglaia palembanica*, *Memecylon floribundum*.

III. Arten, welche bis Celebes gehen: *Unona discolor*, *Polyalthia lateriflora*, *Tetracera sarmentosa* var. *hebecarpa*.

IV. Pflanzen, die jetzt nur mehr auf dem Festland oder auf diesem und einer bzw. mehreren der drei großen Sunda-Inseln oder ausschließlich auf letzteren vorkommen:

1. Heute nur mehr auf einer bzw. mehreren den drei großen Sunda-Inseln lebend:
   a) auf Borneo und Sumatra: *Cylicodaphne cuneata*;
   b) nur von Borneo bekannt: *Garcinia Grahami*;
   c) nur auf Java lebend: *Dehaasia squarrosa* (*Cordia suaveolens*);
   d) auf Sumatra: (*Artocarpus altissima*), *Uvaria Lamponga*, *Cylicodaphne fusca*, *Willughbya apiculata*.

2. Nur auf dem Festland und einer oder mehreren der drei großen Sunda-Inseln lebend vorkommend:
   a) auf Borneo, Java und Sumatra sowie auf dem Festland: *Artocarpus rigida*;
   b) auf Borneo, Java sowie auf dem Festland: *Mitrephora Maingayi*;
   c) auf Java, Sumatra sowie auf dem Festland: *Altingia excelsa*, *Saraca minor*, *Viburnum coriaceum*;
   d) auf Java sowie auf dem Festland: *Aporosa fruticosa*, *Tetranthera alnoides*, *Cryptocarya ferrea* var. *oblongifolia*, *Reevesia Wallichii*, *Memecylon myrsinoides*;
   e) auf Borneo sowie auf dem Festland: *Castanopsis Curtisii*, *Ellipeia cuneifolia*;
   f) nur mehr auf Sumatra und dem Festland: *Hopea fagifolia*;
   g) nur mehr auf dem Kontinent bzw. Ceylon: *Ficus infectoria* var. *Wightiana* und *monticola*, *Loranthus elasticus*, *L. pulverulentus*, *Uvaria zeylanica*, *Tetranthera salicifolia*, *Mesua ferrea*, *Vatica lancaefolia*, *Feronia elephantum*, *Indigofera tinctoria*.

B. Pflanzen mit ausgesprochener Verbreitung vom australischen Festland nach Westen: *Polyscias pinnata*.

Daraus ergibt sich unter ausschließlicher Berücksichtigung der sicher bestimmten Arten ziffernmäßig folgende Übersicht:

	Zahl der Arten	Prozentsatz
Heute noch auf Java lebend	32	62,7
Heute noch in der Nähe von Trinil vorkommend	10	19,6
Heute der Hauptverbreitung nach auf dem indischen Festland	29	56,8
Heute von Ostindien bis Neu-Caledonien	14	27,6
Heute auf den Philippinen die Ostgrenze erreichend	5	9,8
Heute die Ostgrenze auf Celebes	3	5,8
Summe	51	1,00

Was zunächst die noch heute in der nächsten Umgebung von Trinil vorkommende Flora anlangt, so ist daran zu erinnern, daß Java schon vor etwa fünfzig Jahren durch den genialen Junghuhn, den man mit Recht den Humboldt Javas genannt hat, eine grundlegende pflanzengeographische Bearbeitung erfuhr, über die man im großen und ganzen auch heute noch nicht hinausgekommen ist. Die Junghuhnsche Einteilung in vier Höhenregionen, die vom Strande der Tropen zu den kalten Gipfeln der über 3000 m hohen Feuerberge allmählich emporsteigt, ergibt sich ohne willkürliche Trennungen, sobald man den Gesamtcharakter der Vegetation im Auge behält, der allein den Ausschlag geben kann, wenn es sich um die Beurteilung der für eine Flora geltenden klimatischen Bedingungen handelt. Nach den jeweils an Arten- und Individuenzahl am meisten hervortretenden Gewächstypen, die hier ihre günstigsten Lebensbedingungen finden, kann man auf Java folgende Regionen unterscheiden:

I. Region der Feigenbäume oder heiße Region . . 0— 650 m;
II. Region der Lorbeerbäume oder gemäßigte Region 650—1500 m;
III. Region der Eichen oder kühle Region . . . . 1500—2500 m;
IV. Region der Heidekräuter oder kalte Region . . 2500—3300 m.

Im folgenden sollen nun einige Pflanzengenossenschaften in der Umgebung von Trinil vorgeführt werden. Einen Anspruch auf Vollständigkeit machen diese Listen, die sich auf das von Dr. Elbert für die Selenka-Expedition gesammelte Herbarmaterial stützen, natürlich nicht, aber — von den Junghuhnschen Angaben abgesehen — fehlen derartige Schilderungen der Vegetationsverhältnisse fast gänzlich, daß es gerechtfertigt erscheint, authentisch bestimmtes Material für weitere Forschungen bekanntzugeben.

I. Trinil.

a) 50—100 m: Bachanania florida, Calotropis gigantea, Merremia gemella, Porana volubilis, Bridelia stipularis, Phyllanthus reticulatus, Dichrostachys cinerea, Desmodium Cephalotes, Flemingia lineata, Ardisia humilis, Jasminum didymum, Passiflora foetida;

b) 100—150 m: Leea aequata, Anacardium occidentale, Bachanania florida, Mangifera indica, Uvaria purpurea, Alstonia costata, A. villosa, Polyscias nodosa, Pothos longifolius, Flacourtia Ramontchi, Ehretia buxifolia var. microphylla, Protium javanicum, Wedelia biflora, Argyreia mollis, Porana volubilis, Cyperus dilutus, Dioscorea alata, D. pentaphylla, Antidesma Bunias, Bridelia tomentosa, Glochidium glaucum, Macaranga Tanarius, Cassia mimosoides, Albizzia stipulata, Crotalaria semperflorens, Desmodium Cephalotes, Uraria crinita, Flemingia involucrata, Gloriosa superba, Loranthus longiflorus, Talauma Candollei, Gossypium barbadense, Barringtonia spicata, Eugenia Jambosa, Zizyphus jujuba, Petunga longifolia, Capparis sepiaria, Solanum verbascifolium, Kleinhovia hospita, Lantana Camara, Artocarpus integrifolia, Cudrania javanica, Ficus gibossa, Gmelina villosa, Tectona grandis;

c) 100—300 m: Barleria Prionitis, Leea aequata, Mangifera indica, Anona reticulata, Plumiera acutifolia, Fimbristylis globulosa, Polypodium Phymatodes, Cinnamomum zeylanicum, Bauhinia divaricata, B. malabarica, Cassia alata, C. fistula, C. florida, C. mimosoides, Clitoria ternatea, Desmodium gangeticum, Flemingia strobilifera, Leucaena glauca, Pachyrrhizus angulatus, Mezoneurum pubescens, Sesbania grandiflora, Teramnus labialis, Gossypium herbaceum, Hibiscus Abelmoschus, Sida retusa, Psidium guajava, Cardiopteris lobata, Jasminum didymum, Calamus spec., Zizyphus jujuba, Paederia foetida, Hornstedtia minor K. Sch., Brucea sumatrana, Helicteres Isora, Melochia indica, Grewia celtidifolia, Schoutenia ovata, Ficus benjamina, Streblus asper, Callicarpa cana, Clerodendrum serratum, Vitex pubescens.

II. Pandan.

400—900 m: Vitis discolor, Calosanthes indica, Pangium edule, Capparis micrantha, Chloranthus officinalis, Argyreia capitata, Alangium spec., Maba buxifolia, Aleurites moluccana, Baccaurea racemosa, Flueggea obovata, Orthosiphon stamineus, Cajanus indicus, Cassia fistulosa, Saraca minor, Abutilon auritum, Memecylon floribundum, Amoora spec., Cedrela spec., Eugenia Jambolana, Jambosa spec., Eugenia spec. div., Corymbis veratrifolia, Ixora spec., Psychotria aurantiaca, Evodia glabra, Homalium tomentosum, Helicteres hirsuta, Melochia indica, Grewia celtidifolia, Pterospermum Blumeanum, Schoutenia ovata, Celtis Wightii, Conocephalus suaveolens, Ficus fistulosa, F. fulva, F. gibbosa, F. hispida, F. parietalis, Pipturus asper, Streblus asper, Villebrunea integrifolia, Callicarpa longifolia, Clerodendron Blumeanum, C. verratum.

III. Lawu.

1. Plaosan:

a) 800—1000 m: Tournefortia tetrandra var. breviflora, Conyza angustifolia, Erechtites valerianifolia, Synedrella nodiflora, Webbia biflora, Nasturtium diffusum, Cyperus pilosus, Glochidium glaucum, Sauropus albicans, Crotalaria Saltiana, Pithecolobium lobatum, Buddleia asiatica, Sageretia oppositifolia, Amygdalus communis, Artocarpus Blumei, Duranta Plumieri, Vitex trifolia;

b) 900—1300 m: Euphorbia pulcherrima;

c) oberhalb Plaosan, 1000—1200 m: Adiantum diaphanum, Hibiscus macrophyllus;

d) Gipfel, 2900—3200: Alchemilla spec.

2. Sido Ramping, Gandongtal:

a) 1200—1400 m: Justicia procumbens, Cyperus cylindrostachyus, Adiantum diaphanum, Lindsaya cultrata, Pteris aquilina f. capensis;

b) 1300—1400 m: Dianthera dichotoma, Stereospermum hypostictum, Cynoglossum furcatum, Campanumoea javanica, Lonicera javanica, Cerastium triviale, Drymaria cordata, Anaphalis longifolia, Bidens pilosa, Emilea sonchifolia, Erechtites praealta, E. valerianifolia, Galinsoga parvifolia, Gnaphalium luteo-album, Lactuca indica, Webbia biflora, Thuya spec., Nasturtium officinale, Quercus oxyrrhyncha, Cyperus cylindrostachyus, Equisetum debile, Cyrtandra longipetiolata, Andropogon Nardus, Aplada mutica, Arundinella fuscata, Imperata arundinacea, Ischaemum aristatum, Isachne miliacea, Pogonatherum crinitum, Sporobus diander, Hypericum Hookerianum, Elsholtzia elata, Gomphostema phlomoides, Leucas linifolia, Mesona palustris, Plectranthus javanicus, Salvia coccinea, Desmodium scalpe, D. triflorum, Pithecolobium montanum, Schuteria rotundifolia, Usnea barbata, Buddleia asiatica, Lycopodium cernuum, L. clavatum var. divaricatum, Urera lobata, Altstronia macrophylla, Myrica longifolia, Caryophyllus floribundus, Arandina bambusifolia, Plantago depressa, Polygala paniculata, Polygonum chinense, Ranunculus diffusus, Solanum nigrum, Wickstroemia Candolleana, Sanicula europaea, Ficus cuspidata, Callicarpa rubella;

c) 1400—1600 m: Gleichenia dichotoma, Hymenophyllum spec., Polypodium spec., Pteris aquilina f. capensis.

3. Kukusan.

a) 1200—1400 m: Engelhardtia aceriflora, Cassia laevigata, Ficus retusa;

b) 1300—1500: Mangifera foetida;

c) 1500—1700: Acer niveum, Caryospermum serrulatum, Podocarpus cupressina, Quercus lineata, Q. lineata var. Merkusii, Q. oxyrrhyncha, Diplycosia

heterophylla Bl., Aeschynanthes Horsfieldii, Litsea diversifolia, Albizzia montana, Geniostoma montanum, Ardisia javanica, A. laevigata, Maesa indica, Eugenia spec., Nepenthes Melamphora, Polygala venenosa, Coffea arabica, Lasianthus inodorus, L. lucidus, Psychotria divergens, Dodonaea viscosa, Eurya acuminata var. angustifolia, Sarauja Blumeana, Ficus fistulosa, F. fulva, F. urophylla Wall., Vaccinium Rollinsoni, V. Teysmanni.

4. Djogolarangan, Kali Djeploh.

1200—1400 m: Viburnum coriaceum, Quercus lineata var. Merkusii, Homolanthus populifolius, Lepedeza cytisoides, Pithecolobium montanum, Medinilla intermedia, Photinia Notoniana, Mussaenda ferruginea, M. frondosa, Wendlandia rufescens, Nauclea spec., Toddalia acuminata, Hydrangea oblongifolia, Itea macrophylla, Weinmannia Blumei, Melochia indica, Sarauja bracteosa, Vaccinium Hasselti.

5. Kendil.

a) 1300—1500 m: Ardisia laevigata, Ficus quercifolia;

b) 1500—1600 m: Viburnum coriaceum, Spartium junceum, Maesa indica, Helicia attenuata, Citrus decumana.

6. Z.—O. helling.

a) 1300—1500 m: Heptapleurum confine, Viburnum coriaceum, Glochidium rubrum, Aspidium aculeatum, Nephrolepis exaltata, N. volubilis, Cyrtandra cuneata, Maesa indica, Nauclea grandiflora, Sarauja bracteosa, Triumfetta semitriloba, Ficus fistulosa;

b) 2300—2600 m: Heptapleurum aromaticum, Viburnum coriaceum, Inula cappa, Davallia bullata, Mesona palustris, Dianella nemorosa, Lycopodium volubile, Peperomia reflexa, Plantago Hasskarli, Polygonum chinense, Thalictrum javanicum, Rubus fraxinifolia, R. nivea, Photinia Notoniana, Toddalia aculeata, Dodonaea viscosa, Vaccinium Teysmanni.

c) 2500—2800 m: Anaphalis longifolia, Gnaphalium japonicum, Gynura aurantiaca. Aspidium aculeatum, Impatiens platypetala, Lepedeza cytisoides, Buddleia asiatica, Geniostoma montanum, Polygonum Minense, Lysimachia ramosa, Thalictrum javanicum, Rubus angulosa, R. vivea, Astilbe rivularis, Eurya coniocarpa, Valeriana javanica.

7. Gipfelflora des Lawu.

2900—3200 m: Antennaria viscida, Gnaphalium luteo-album, Sonchus javanicus, Carex indica, Gaultheria nummularioides, Aspidium aculeatum, Gentiana quadrifaria, Isachne miliacea, Hypericum Hookerianum, Calamintha

umbrosa, Scutellaria discolor, Albizzia montana, Parochetus communis, Lycopodium clavatum var. divaricatum, Plantago depressa, P. Hasskarli, Polygonum Minense, Thalictrum javanicum, Alchemilla spec., Rubus lineata, Photinia Notoniana, Ph. integrifolia, Cinchona Calisaya, C. succirubra, Galium rotundifolium var. leiocarpum, Nertera depressa, Eurya coneocarpa, Gordonia excelsa, Vaccinium varingaefolium.

Vergleicht man diese Vegetation mit der fossilen Flora von Trinil, so findet man folgende Arten gemeinsam:

	Höhe in m	Höhenregion
Loranthus longiflorus . . .	100— 150	I
Uvaria purpurea	100— 150	I
Cassia alata	100— 300	I
Streblus asper	400— 900	II
Ficus variegata	400— 900	II
Flueggea obovata	400— 900	II
Saraca minor	400— 900	II
Memecylon myrsinoïdes . .	400— 900	II
Ficus retusa	1200—1400	II
Viburnum coriaceum . . .	1200—2600	II und III.

Daraus ergibt sich ohne weiteres, daß von den zehn noch heute in der nächsten Umgebung des fossilen Pflanzenlagers gefundenen Arten sieben der zweiten gemäßigten oder Lorbeerregion angehören.

Was die drei Pflanzen der ersten Zone angeht, so kommt *Uvaria purpurea* auf der Malaiischen Halbinsel auch bei 600 m vor, *Cassia alata* ist in den Tropen Kosmopolit, steigt aber nicht selten in die Bergwälder, wo sie feuchten Boden bevorzugt und 1 bis 2 m hohe Büsche bildet, *Loranthus longiflorus* endlich geht vom Meeresstrand bis zu Höhen von 2250 m, ist also sehr anpassungsfähig.

Von den sieben oben angeführten Pflanzen beansprucht *Viburnum coriaceum* das größte Interesse. Dieser immergrüne Schneeball, ein kleiner Baum, kann geradezu als Charakterpflanze der höheren konstant feuchten Bergwälder bezeichnet werden und geht nie unter 1200 m. So bewohnt er im temperierten Himalaya, im Khassigebirge und auf den Bergen Dekans die Höhen zwischen 1200 und 1500 m; die nördliche Verbreitung auf dem Festland reicht bis Sze ch'uan in Zentralchina, das durch ein feuchtes und wolkiges Klima ausgezeichnet ist.

Von den Feigenbäumen kommt *Ficus variegata* allerdings manchmal, z. B. auf Celebes, im Küstenwald vor, gewöhnlich aber kommt dieser 40 m hohe Baum mit dem später zu erwähnenden Rasamalabaume (Altingia excelsa) in feuchten Hochwäldern bei 600 bis 1200 m vor; über 1500 wurde er dagegen

nicht mehr beobachtet, er überschreitet demnach die gemäßigte Region nicht. Auch *Ficus callosa* hält sich zwischen 10 und 1000 m, *Ficus retusa* zwischen 20 und 1500 m. Die Feigenbäume sind ja eigentlich wie die Anonaceen Tieflandsbewohner, allein sie werden in zahlreichen Arten auch noch in der zweiten Region getroffen, die eben eine Übergangsformation ist und noch viele Elemente der heißen Zone enthält.

Auch bei den sonst noch auf Java lebend vorkommenden 22 Arten finden sich mit mancher höher steigenden Tieflandsform spezifische Charakterpflanzen der gemäßigten Region. In erster Linie ist hier der für den physiognomischen Charakter des Landschaftsbildes so wichtige Rasamalabaum, Altingia excelsa, zu nennen. Dieser Baum, den der begeisterte Junghuhn als Fürst in den Wäldern preist, erhebt sich mit seinem schnurgeraden Stamme am Saume der düsteren schattigen Wälder und erst 25 bis 30 m über dem Boden teilt sich der 48 m hohe Baumriese in die Äste, bedeckt von der kugeligen Laubkrone, an Höhe wie an Umfang alle anderen Bäume übertreffend. Der heute auf Mitteljava fehlende Baum hält sich streng an die Grenzen der temperierten Zone und geht an den Orten seines spontanen Vorkommens nicht unter 600 m und nicht über 1200 m.

Charakteristisch für die gemäßigte Region ist ferner die Gattung Fagraea, von der die Art F. litoralis fossil vorliegt. Dieser immergrüne Kletterstrauch feuchter Wälder verdient eigentlich seinen Namen nicht ganz, denn auf dem Rahoen-Plateau gedeiht er bei 700 m und die mit ihm aufs engste verwandte Fagraea lanceolata, die sich hinsichtlich ihrer Blüten und Früchte von F. litoralis nicht unterscheidet, so daß sie vielleicht nur eine Varietät der letzteren darstellt, steigt sogar bis 1500 m.

Memecylon floribundum, ein baumartiger Strauch aus der Familie der Melastomaceen, wurde bisher für eine für Java endemische Art gehalten, die etwa in einer Höhe von 15 m vorkommt. Es konnte hier zum ersten Male darauf hingewiesen werden, daß die charakteristische Pflanze schon von Cuming von den Philippinen mitgebracht wurde und bis zu 900 m empor geht, also gleichfalls für die zweite Zone in Anspruch genommen werden darf.

Bemerkenswert ist ferner die Araliacee *Polyscias pinnata,* ein baumartiger Strauch, der mehrere bisher nicht richtig erkannte Arten umfaßt (vgl. S. 27). Er wächst in Ostjava auf dem Rahoen-Idjen-Plateau bei 1100 m Höhe, wo sich überhaupt zum Teil eine der fossilen Flora entsprechende Pflanzengesellschaft vorfindet.

Die eigentlichen Charakterpflanzen dieser Region sind jedoch die Lorbeerbäume, die man in einer solchen Artenzahl in einer geringen Höhe vergeblich

suchen würde. Zu den häufigeren Fossilien von Trinil gehört Tetranthera alnoides, welche die Höhen von 900 bis 1500 m bewohnt und früher auch in tieferen Lagen zahlreich angebaut wurde. Wie die ihr nahe verwandte Tetranthera salicifolia, die aber, wie schon der Name sagt, weidenartige Blätter hat, kommt sie im feuchten Assam bei 1200 m Höhe vor und ebenso im temperierten Himalaya.

Eine Charakterpflanze des östlichen Himalaya und des Khassigebirges bei 900—1350 m ist auch Reevesia Wallichii, die aber auch auf Westjava lebend noch vorkommt.

Wie schon aus den oben angeführten Zahlen hervorgeht, würde man fast die Hälfte der bei Trinil gefundenen Pflanzen auf Java heute vergeblich suchen. Am oberen Rande der zweiten Region treten in Java die Kastanienbäume durch die Zahl der Arten und Individuen hervor, die ihre günstigsten Lebensbedingungen auf dem fruchtbaren, humusreichen, immer feuchten Boden der schattigen Urwälder finden. Der fossil in den Pithecanthropus-Schichten gefundene Kastanienbaum gehört jedoch nicht einer der drei noch jetzt auf Java vorkommenden Arten an, sondern der nur von Penang im malaiischen Archipel und aus Borneo bekannten Castanopsis Curtisii.

Von größtem Interesse sind natürlich die neun heute nur mehr auf dem indischen Festland bzw. Ceylon vorkommenden Arten, die immerhin einen ganz ansehnlichen Teil der Flora ausmachen.

Unter diesen Pflanzen ist die schon erwähnte Tetranthera salicifolia zu nennen, die auf den Bergen Ostindiens bei 1200 m wächst, ferner Vatica lancaefolia, eine namentlich im Himalaya, dem Khassigebirge, in dem feuchten Assam und dem steilen Plateau von Silhet heimische Dipterocarpee, die gleichfalls bis 1200 m emporsteigt. Besonders wichtig ist außerdem eine zu den Guttiferae gehörige Art, Mesua ferrea, die sich im Areal ihres spontanen Vorkommens vom Himalaya bis Siam stets in den Bergwäldern von 1300 bis 1500 m Höhe findet. Auch Loranthus pulverulentus hält sich im subtropischen Himalaya an die Höhenzone von 600—1200 m. Es sei endlich noch auf die durch einen wohlerhaltenen Fruchtrest vertretene Feronia elephantum hingewiesen, dessen natürliches Vorkommen auf dem Festland, z. B. dem West-Himalaya und zwar bei etwa 900 m, zu suchen ist.

Aus diesen Darlegungen, bezüglich deren Einzelheiten die Tabellen (S. 30 und 34) zu vergleichen sind, ergibt sich folgendes. Träte ein Botaniker eine Wanderung an von Neu-Caledonien, lenkte seine Schritte über Neu-Guinea, Celebes, die Philippinen, Borneo, Java und Sumatra und käme dann auf das Festland von Indien, so würde er, je mehr er sich dem Himalaya nähert, um

so mehr die in den Pithecanthropus-Schichten fossil gefundenen Arten lebend antreffen. Nur eine Art, das einzige australische Element, Polyscias pinnata, würde ihn vom australischen Kontinent, etwa Neusüdwales, bis Java begleiten.

Um nun die klimatischen Verhältnisse zu ermitteln, unter denen eine solche Flora, wie sie in den Pithecanthropus-Schichten begraben ist, gelebt hat, wird man am besten fragen, wie die klimatischen Bedingungen sind, unter denen eine entsprechende Vegetation in der nächsten Umgebung von Trinil, auf Java und auf dem indischen Festland vorkommt. Dabei darf jedoch nicht der Gesamtcharakter der Flora außer acht gelassen werden, da man sonst zu willkürlich gezogenen Grenzen gelangen würde, die dem Grundsatz des Unterscheidens nicht im mindesten entsprechen.

Trinil liegt am Nordrand der ziemlich großen Ebene von Madiun in Mitteljava. Die jetzige Temperatur der Madiunebene beträgt 24 bis 28° C. Die hier bei etwa 100 m wachsende Flora wurde oben (S. 39) kurz angeführt und dabei zeigte sich, daß die Mehrzahl der fossilen Arten erst im Höhengürtel von 400—1400 m lebend anzutreffen ist, also schon innerhalb der gemäßigten Region und das gleiche gilt für die sonst auf Java noch vorkommenden Arten. Die Betrachtung der Festlandspflanzen ergibt folgende Pflanzengenossenschaften:

a) Temperierter Himalaya, 1200 m: Ficus retusa, F. infectoria, Loranthus longiflorus, L. pulverulentus, Altingia excelsa, Flueggea obovata, Tetranthera alnoides, Mesua ferrea, Vatica lancaefolia, Reevesia Wallichii, Feronia elephantum, Saraca minor, Viburnum coriaceum.

b) Khassigebirge, 1200 m: Ficus infectoria var. monticola, Altingia excelsa Flueggea obovata, Vatica lancaefolia, Reevesia Wallichii.

c) Assam, 1200 m: Ficus indica, Unona discolor, Altingia excelsa, Tetranthera alnoides, Tetranthera salicifolia, Vatica lancaefolia, Viburnum coriaceum.

d) Sikkim, 1200 m: Ficus variegata, Loranthus pulverulentus, Unona discolor, Viburnum coriaceum.

Die nahen Beziehungen der fossilen Flora von Trinil erstrecken sich nicht nur auf die Art, sondern auch auf bestimmte Varietäten. Die gewöhnliche Form von Ficus infectoria z. B. geht von Ostindien bis Neu-Guinea; außer dieser gibt es aber eine nur mehr in den Bergwäldern Ostindiens und Japans lebend vorkommende Festlandsform, die sich ebenso fossil bei Trinil findet und eine weitere besonders charakteristische montane Form des Khassigebirges, der früher sogar Miquel den treffenden Artnamen F. monticola gegeben hat, kommt in so individuell ähnlicher Ausbildung auf diesem Gebirge vor, daß man fossiles

und rezentes Blatt bis auf die feinsten Nervenendigungen miteinander vergleichen kann, ohne eine Abweichung zu finden.

Was nun die klimatischen Verhältnisse der gemäßigten Region von Java anlangt, so hält sich die Luftwärme nach Junghuhn zwischen 18 und 22°. Vor allem herrschen hier stärkere Niederschläge und fast jeden Nachmittag entladen sich an den Berghängen die heftigsten Gewitter; dazu kommt, daß der tägliche Temperaturwechsel häufiger und die Feuchtigkeit der Atmosphäre größer ist. Auch sonst herrschen in Südostasien ähnliche Temperaturmittel für das Hochland. Tosari auf Java hat bei einer Höhe von 1777 m eine durchschnittliche Jahrestemperatur von 15,9°, Toba auf der Inland-Hochebene von Nordsumatra bei 1150 m Höhe 20,9°. Aus zahlreichen Temperaturmitteln für Südostasien hat sich als Betrag für die mittlere Temperaturabnahme mit der Höhe 0,59° pro 100 m ergeben.

Fasse ich die Ergebnisse zusammen, zu denen die Betrachtung der in den Pithecanthropus-Schichten enthaltenen Arten führt, so zeigt sich, daß diese auf das bestimmteste für die Zeit der Bildung der Ablagerung das Vorhandensein eines Klimas erweisen, das im Vergleich mit dem heute an dem Standorte herrschenden als ein kühleres, gemäßigteres bezeichnet werden muß und im Mittel um 6° niedriger war als heute.

Diese Zahl ist sicher nicht zu hoch gegriffen, denn Pflanzen wie Tetranthera alnoides, Mesua ferrea, Reevesia Wallichii und Viburnum coriaceum deuten zusammen mit der an Individuenzahl überwiegenden Kastanienart und den zahlreichen Lorbeerarten an, daß die an der oberen Grenze bei ca. 1200 m herrschenden klimatischen Bedingungen für die Zeit der fossilen Flora anzunehmen sind. Hier sind es die immer feuchten, immergrünen, schattigen, aus etwa 200 bis 400 Baumarten bestehenden Urwälder auf fruchtbarem, humusreichem, immer feuchtem Boden der zweiten oder Lorbeerregion, die der fossilen Waldflora entsprechen.

Aber selbst hier würde man nicht alle Arten wieder finden, die sich fossil erhalten haben. Dies ist nur auf dem indischen Festland der Fall und zwar im temperierten Himalaya, in Assam an der Ostgrenze von Indien, im Khassigebirge in einer Höhe von 750 bis 1200 m. Das Khassigebirge, das sich steil aus der Ebene von Silhet erhebt, hat bekanntlich bei Cherrapungi, das mit einer Meereshöhe von 1250 m etwa den für die fossile Trinilflora angenommenen Verhältnissen entspricht, 11626 mm mittleren Regenfall; wenn hier diese kolossale Regenmenge auch durch die eigentümliche plateauartige Lage bedingt ist, so darf doch für die fossile Trinilflora eine ähnliche Regenmenge angenommen werden. Der östliche Himalaya, der in seiner temperierten Region

die Charakterpflanzen der fossilen Flora enthält, weist Niederschlagsmengen auf, die sich mit denen von Cherrapungi vergleichen lassen. Auch Assam, das eine der fossilen entsprechende Pflanzengenossenschaft noch heute beherbergt, weist große Regenmengen — 239 cm mittleren Regenfall pro Jahr — auf.

So glaube ich nach wie vor, daß die Gesamtheit der Trinilflora ein heißes Tropenklima ausschließt und nicht nur ein um ca. 6° kühleres, sondern auch feuchteres regenreicheres Klima verlangt, als es jetzt in Mitteljava herrscht.

Anzeichen, welche dieses Resultat unterstützen, lassen sich auch aus den biologischen Verhältnissen gewinnen, die gegenwärtig die Vegetationsbedingungen der gemäßigten Region charakterisieren. Alle genannten Bäume und Sträucher kommen nur auf dem feuchten Boden der gemischten Urwälder vor; nur zwei Arten, die besonders anpassungsfähig sind, Polyalthia lateriflora und Ficus variegata, wachsen auch an trockenen Standorten. Von laubabwerfenden Arten ist eigentlich nur Ficus infectoria zu nennen, der aber nur sehr kurze Zeit blattlos ist. An den erhaltenen Holzkörpern sind Jahresringe auch andeutungsweise nicht sichtbar. Die Blattspreiten sind klein und mehr oder weniger stark lederartig und meist ganzrandig. Viele sind mit Träufelspitzen versehen, die eine raschere Trockenlegung der Blattfläche gestatten, so Castanopsis Curtisii Altingia excelsa, Garcinia Grahami, Hopea fagifolia u. a. Große Laubblätter sind selten und nur bei Ficus callosa und Polyscias pinnata vorhanden. Von Lianen sind nur Deguelia elliptica, ein windender Strauch, Fagraea litoralis, ein subepiphyter Kletterer, und Willughbya apiculata, eine Kautschukliane, zu nennen. Daraus folgt, daß die Pflanzen von Trinil einem offenen, von Lianen fast freien Urwald angehörten und dies ist besonders in dem temperierten Regenwalde der Fall, wo die Lianen abnehmen und die Laubmasse weniger dicht ist.

IV.

Das geologische Alter der Pithecanthropus-Schichten.

Das Alter der Pithecanthropus-Schichten ist bekanntlich bis in die jüngste Zeit ein strittiger Gegenstand gewesen und noch jetzt schwanken die Ansichten zwischen pliozän und diluvial.

Fragt man zunächst, ob die Pithecanthropus-Schichten tertiär sein können, so sprechen gegen diese Annahmen zwei sehr gewichtige Tatsachen. Die eine ist die, daß weder aus den tertiären Ablagerungen Europas noch denen der Sunda-Inseln eine einzige der nachgewiesenen Pflanzenarten bekannt wurde; die zweite Tatsache ist die völlige Übereinstimmung der fossilen Flora mit rezenten Arten.

Gegen die erste Tatsache könnte eingewendet werden, daß wir ja nur wenig von der Flora der Sunda-Inseln während der Tertiärzeit wissen, während die Tertiärflora Europas in ihren Grundzügen bekannt ist. Hat sich nun irgend eine Beziehung zu europäischen Tertiärpflanzen schon gar nicht ergeben, so ist doch auch unsere Kenntnis der Tertiärflora der Sunda-Inseln nicht so gering als man vielleicht erwarten könnte. Von Java kennt man eine reiche miozäne Flora, von welcher Goeppert [1]) 36 fossile Arten bestimmen konnte; neuerdings vermehrte Raciborski [2]) die Kenntnis dieser Flora durch den Fund von zwei Driftsamen. 32 Arten beschrieb Heer [3]) von Sumatra und 13 Arten Geyler [4]) von Borneo, derselbe [5]) später von Labuan auf Nordborneo 34 Arten. Dazu kommt noch eine von Warburg bestimmte Anonaceenfrucht [6]) aus den Zinnseifen Bankas, ein Kieselholz aus dem Tertiär von Sumatra [7]), zwei von Java [8]), eines von Valentin auf der Insel Negros auf den Philippinen [9]) und drei von verschiedenen Lokalitäten der Philippinen [10]).

Diese 125 fossilen Arten zeigen ebensowenig irgendwelche Beziehungen zu der Flora der Pithecanthropus-Schichten als die acht von Crié [11]) beschriebenen Arten der pliozänen Flora von Gunung Kendeng auf Java. Es ist zwar nicht bekannt, ob diese Flora alt- oder jungpliozän ist, aber sie ist gegenüber der von Goeppert untersuchten Miozänflora dadurch von Interesse, daß sie aus Arten besteht, die sich rezenten viel mehr nähern als dies bei den miozänen Pflanzen Javas der Fall ist, woraus jedenfalls hervorgeht, daß die Flora von Gunung Kendeng jünger ist als miozän, wahrscheinlich altpliozän.

Nur von Mandalasari oberhalb Nanggoeng (Distr. Leuwiliang, Res. Batavia) ist mir aus dem Tongestein mit Blatt- und Fischabdrücken eine kleine Flora bekannt geworden, welche im Geologischen Reichsmuseum zu Leiden aufbewahrt wird und sich mehr als alle anderen fossilen Floren derjenigen der Pithec-

[1]) Die Tertiärflora auf der Insel Java. Elberfeld 1857.

[2]) Über eine fossile Pangium-Art aus dem Miozän Javas. Bull. Acad. sc. (Cl. sc. math. et nat.). Cracovie 1909, S. 280—284.

[3]) Über fossile Pflanzen von Sumatra, Abh. Schweiz. Paläont. Ges. I, 1874 und Beiträge zur fossilen Flora von Sumatra, N. Denkschr. Schweiz. Naturf. Ges. 1880.

[4]) Über fossile Pflanzen von Borneo. Palaeontogr. 1875.

[5]) Über fossile Pflanzen von Labuan. Vega-Exped. Vetenskapliga Arb. IV, S. 475—505.

[6]) Vgl. darüber die Anmerkung in Julius Schuster, Die Flora der Trinil-Schichten. Selenka-Trinil-Expedition 1911, S. 251.

[7]) H. Hofmann, Untersuchungen über fossile Hölzer. Zeitschr. f. Naturw. 57, 1884, S. 183.

[8]) Derselbe, l. c., S. 179 und Felix, Studien über fossile Hölzer, 1882, S. 62 und Fossile Hölzer Westindiens, 1883, S. 20.

[9]) Felix, Untersuchungen über fossile Hölzer II, 1886, S. 491.

[10]) Crié, Beiträge zur Kenntnis der fossilen Flora einiger Inseln des Südpazifischen und Indischen Ozeans. Paläont. Abh. V, 2, 1889, S. 12—13.

[11]) Recherches sur la flore pliocène de Java. Samml. Geolog. Reichsmus. Leiden I, 5.

anthropus-Schichten nähert. Sie besteht außer einer Cinnamomum-Art aus Ficus-, Artocarpus- und Uvaria-Arten, die denen von Trinil sehr ähnlich sind, ohne mit ihnen völlig übereinzustimmen. Auch ein gut erhaltenes Lauraceenblatt, Cylicodaphne Lenorae Selenkae, das sich sehr nahe an Cylicodaphne fusca der Trinil-Schichten anschließt, liegt vor (vgl. S. 21); aber die Übereinstimmung ist doch keine vollkommene, weshalb diese Art von derjenigen von Trinil zu trennen ist. Auch der aus diesem feinen Ton von Mandalsari beschriebene Süßwasserfisch, Barbus fossilis, steht dem rezenten Barbus hampal sehr nahe. Weitere Schlüsse sind aus der Flora wegen der geringen Zahl der Arten nicht zu ziehen, doch macht sie gegenüber derjenigen von Gunung Kendeng entschieden einen jüngeren Eindruck und dürfte wahrscheinlich in das Jungpliozän zu stellen sein.

Wenn demnach auch die fossile Flora von Mandalasari kein Bild einer jungpliozänen Flora der Sunda-Inseln zu geben vermag, so sind wir doch durch die Untersuchungen von Nathorst über die fossile Flora von Japan in der glücklichen Lage, uns ein Bild von einer asiatischen jungpliozänen Flora zu machen. Bei dem Studium der fossilen Flora von Mogi, die Nordenskjöld unweit Nagasaki entdeckte, machte Nathorst[1]) die Entdeckung, daß hier die fossilen Pflanzen ein kühleres Klima andeuten als es gegenwärtig in Südjapan herrscht; nach der Zusammensetzung der Flora entspricht das Klima dem heute in dem hochliegenden Teile Japans vorhandenen. Nach den Bestimmungen von Nathorst sind von den 51 Arten der fossilen Flora von Mogi 20 neue Arten. Diese hohe Zahl ausgestorbener Spezies läßt es nicht zweifelhaft erscheinen, daß die Flora von Mogi jungpliozän ist. Man kann demnach den Prozentsatz an rezenten Arten für eine jungpliozäne Flora des tropischen Asien auf etwa 60 % berechnen. Bedenkt man, daß die Pflanzen in ihrer Gesamtheit gegen klimatische Schwankungen weniger empfindlich sind als die Tiere, daß man ferner bei pliozänen Faunen bis zu 90 % rezenter Formen annimmt, so kann das Alter der Flora von Mogi kein anderes als jungpliozän sein. Daraus ergibt sich aber die wichtige Tatsache, daß auch in den Tropen kein Vorauseilen in der Florenentwicklung zur Pliozänzeit statthatte, dergestalt etwa, daß die gesamte heutige Flora aus dem Jungpliozän datiert. Auch für die Tropen gilt der Satz, daß das Pliozän die Geburtsstätte der heutigen Vegetation darstellt.

Stellt man jetzt den 51 Arten der Mogiflora die 51 sicher bestimmten Spezies der Trinilflora gegenüber, so konnte gezeigt werden, daß letztere weder eine ausgestorbene Art noch eine ausgestorbene Varietät noch sonst irgend eine

[1]) Bidrag till Japans fossila Flora (Vega-Exped. Vetenskapliga Arb. II, S. 119—225).

Modifikation besitzt, die sich nicht vollständig mit einer rezenten identifizieren ließe. Hieraus glaube ich den sicheren Schluß ziehen zu müssen, daß die Trinilflora ein diluviales Alter besitzt, der Quartärzeit angehört. Diese Folgerung ist um so sicherer, als sie auf ein zahlreiches Material gegründet ist. Man schätzt die Gesamtzahl der Holzgewächse des temperierten Höhengürtels von Java auf 250 Arten; die 51 Arten der Trinilflora stellen also für denjenigen, der das Verhältnis einer fossilen zu der entsprechenden rezenten Flora richtig zu beurteilen weiß, ein hinlängliches Fundament für die Charakterisierung der Flora der Pithecanthropus-Schichten dar.

Schwieriger gestaltet sich die Aufgabe, aus den Pflanzenresten Argumente für die Entscheidung zu gewinnen, welchem Abschnitt des Diluviums die Ablagerung angehört. Hiebei ist zunächst zu erwägen, daß einerseits eine Reihe der fossilen Arten heute in Java fehlt und sich in ein kühleres und feuchteres Klima zurückzog, anderseits die auf Java noch lebenden Arten heute die gemäßigte Region dieser Insel bewohnen. Diese Erscheinung ist, wie oben begründet wurde, nur durch die Annahme einer Abkühlung um etwa 6° in Verbindung mit einer höheren Regenmenge (etwa 350 cm mittlerer Regenfall im Jahre) zu erklären. Eine solche Periode vermehrter Niederschläge herrschte nun nach den Ansichten der Geologen tatsächlich in Südamerika, Afrika und Südasien; es ist die sog. Pluvialzeit, die man im allgemeinen mit der Vereisung der gemäßigten Breiten in Parallele setzt. Nach den neueren Ausführungen von Blanckenhorn [1]) umfaßt diese große Pluvialperiode die Günz- und Mindeleiszeit Pencks und entspricht dem Oberpliozän und Altdiluvium; das erste der Günzeiszeit äquivalente Drittel entspricht dem, was nach der üblichen Einteilung zum Oberpliozän, von Blanckenhorn jetzt zum Altdiluvium gerechnet wird, darauf folgte im zweiten Drittel eine kurze Interpluvialzeit und mit dem letzten Drittel der Pluvialperiode, das mit der Mindeleiszeit in Parellele zu setzen sein dürfte, erreichen die Niederschläge ihren Höhepunkt, die Terrassen dieser Periode steigen bis zu 30 und 70 m empor.

Nach dieser Einteilung kann es keinem Zweifel unterliegen, daß die oberpliozäne Mogiflora dem ersten Drittel der Pluvialperiode angehört, also der Günzeiszeit entspricht, die altdiluviale Trinilflora dagegen dem letzten Drittel der Pluvialperiode, also dem der Mindeleiszeit äquivalenten Höhepunkt der Pluvialperiode. Das Klima war damals durch reiche Niederschläge bestimmt, sehr feucht und kühl.

---

[1]) Neues zu Geologie Palästinas und des ägpytischen Niltales. Zeitschr. d. Deutschen Geol. Ges. 1910 mit „vergleichender Übersichtstabelle der wichtigsten Ablagerungen und Vorgänge der Pliozän- und Diluvialperiode von Ägypten, Syrien und Europa".

Bei dem rezenten Charakter der Trinilflora wäre endlich noch die Ansicht eines mitteldiluvialen Alters zu erörtern. Gleichzeitig mit der Rißeiszeit kam nämlich eine feuchte Periode mit etwas vermehrten Niederschlägen, die aber nur niedrige Terrassen hinterließ. Es entsteht also die Frage, ob die Trinilflora auch postpluvial sein kann. Abgesehen davon, daß schon der altertümliche Charakter der Säugetierfauna von Trinil diese Annahme nicht zuläßt, sprechen auch die botanischen Tatsachen dagegen. Für manche der in Betracht kommenden Arten, wie Altingia excelsa, würde schon eine geringe Temperaturabnahme genügt haben, um die heutige Verbreitung zu bewirken. Allein die Verbreitung anderer Arten, wie Castanopsis Curtisii, Tetranthera alnoides, Mesua ferrea, Reevesia Wallichii, Feronia elephantum, Viburnum coriaceum u. a., macht es sicher, daß die Abkühlung eine beträchtliche war, da sich sonst wohl die eine oder andere dieser Arten an einem klimatisch besonders begünstigten Punkte der ersten Region auf Java erhalten hätte. Auch die große Zahl der heute auf Java nicht mehr vorkommenden Arten spricht gegen ein jüngeres Alter; man müßte sonst die sehr unwahrscheinliche Annahme machen, daß alle diese Arten durch die lange und intensiv einwirkende Hauptentwicklung der Pluvialperiode von ihrem ehemaligen Standorte verdrängt wurden und dann nach langer Zeit aus großer Entfernung in derselben Zusammensetzung wieder zurückkehrten. Wäre die fossile Flora der Trinil-Schichten so jugendlichen Alters, so würde man die entsprechenden rezenten Arten noch sämtlich in der näheren Umgebung von Trinil, zum mindesten auf Java, nicht aber zu einem beträchtlichen Teil erst im Himalayagebiet wiederfinden.

Es könnte gegen die altdiluviale Altersbestimmung der Pithecanthropus-Schichten der Einwand erhoben werden, ob diese in erster Linie auf die sogenannte Hauptblätterschicht begründete Bestimmung auch für die sonstige Flora der Trinil-Schichten gilt und diese tatsächlich von oben bis zu dem das Konglomerat unterlagernden Ton das gleiche geologische Alter haben. Abgesehen davon, daß auch aus geologischen Gründen hervorgeht, daß die Trinil-Schichten in einer relativ kurzen Zeit entstanden sind und außerdem die Fauna der Schichten durchaus den gleichen Charakter verrät, ergibt sich aus der Flora das nämliche Resultat, wenn auch hier die bestimmbaren Reste aus den tiefer liegenden Schichten spärlich sind. Aus der Schicht, in welcher der Pithecanthropus gefunden wurde, liegen Kieselhölzer von Polyalthia lateriflora und Reevesia Wallichii, Braunkohlenhölzer von Polyscias pinnata, die Frucht von Feronia elephantum und verkohlte Reste von Cyperus spec. vor. Das sind zum Teil die nämlichen Arten wie in der Hauptblätterschicht und gehören sämtlich ebenfalls der jetzigen temperierten Zone an. Eine weitere Ab-

kühlung läßt sich aus den in der Hauptblätterschicht und über dieser eingebetteten Pflanzenresten keineswegs feststellen, es liegt sicher eine durchaus einheitliche Flora vor, deren Charakter vollständig demjenigen der jetzigen gemäßigten Zone Javas entspricht.

Dieser vollständig einheitliche Charakter der Flora läßt auch den Einwurf nicht aufkommen, die Reste der für ein gemäßigtes Klima sprechenden Pflanzen seien von den höheren Gebirgszonen herabgeschwemmt worden. Wäre dies der Fall, so wäre es ein wunderbarer Zufall, wenn nicht auch Blätter von den Pflanzen der kühlen und kalten Zone mit herabgeschwemmt worden wären. Von Magnolien, Eugenien, Engelhardtien, Cornaceen oder Ericaceen, deren starke Lederblätter für die Erhaltung ebensogut geeignet sind wie diejenigen der Trinilpflanzen, war nicht eine Spur zu finden, überhaupt nicht eine einzige Charakterpflanze der kühlen Eichenregion, obwohl es sich schon bei der Trinilflora um die obere Grenze der zweiten, gemäßigten Region handelt, also eine Menge von Pflanzen der dritten, kühlen Zone mit herabgekommen wäre, wenn es sich um eine Mischflora verschiedener Zonen handelte.

Was die Bildung der Ablagerung anlangt, so beweisen die regellos verteilten Holzkörper, sowie die wirr durcheinander gestreuten Blattreste hinlänglich, daß keine autochthone Ablagerung vorliegt. Wenn trotzdem die Hölzer ebensowenig wie die Knochen Spuren eines Transportes nicht zeigen und gut erhaltene Blätter mit Basis und Spitze häufig sind, so gibt es dafür wohl nur eine plausible Erklärung und zwar die, daß die Pflanzen und Tiere bei einer vulkanischen Eruption vernichtet, durch die aus dem Krater herabquellenden Schlammassen (sog. Lahar) an Ort und Stelle überströmt wurden und so tage-, ja vielleicht wochenlang nach den Haupteruptionen liegen blieben, bis durch diese Schlammassen ein kleiner Wasserlauf (Laharstrom) hindurchbrach und die Reste in einem Sumpfsee (sog. Rawah) nahe bei dem heutigen Trinil absetzte.

Um dieses gewaltige, alles vernichtende Lahar-Phänomen zu veranschaulichen. sei nur folgende Stelle aus der meisterhaften Schilderung Junghuhns angeführt: „Durch plötzliche Erdstöße aus dem Schlafe geweckt, entflohen die Bewohner ihren Hütten. Ein donnerndes brüllendes Getös traf ihr Ohr und Entsetzen bemächtigte sich ihrer, als sie eine schwarze Rauchsäule von ungeheurem Umfang emporschießen, sich mit Blitzesschnelle ausbreiten, den ganzen Himmel überziehen und im Nu den noch eben hellsten Sonnenschein in die finsterste Nacht verwandeln sahen. Jetzt flohen sie bestürzt durcheinander, nicht wissend wohin und ungewiß ihres nächsten Loses, noch ein paar Stunden später und Tausende von ihnen waren begraben. Sie wurden teils bedeckt von Asche, die, vom Krater herausgeschleudert, in ungeheurer Masse aus

der Luft herabfiel, teils kamen sie in den Fluten von heißem Wasser um, das mit Schlamm und Steintrümmern vermengt, dem Krater in ungeheurer Menge entquoll, als käme eine zweite Sintflut. Zehn Meter weit im Umkreis war alles überströmt, alle Dörfer, Felder und Wälder vernichtet und in einen dampfenden Pfuhl von bläulichgrauer Farbe verwandelt, der mit Kadavern von Menschen und Tieren, mit Trümmern und zerbrochenen Baumstämmen übersät war. Wild brachen durch diese Schlamm- und Trümmermassen die Bäche hindurch, sie waren zu tosenden Fluten angeschwollen, die alles auf ihrer Bahn zerstörten, alle Brücken wegspülten und weitere Überschwemmungen verursachten. Mit Menschen- und Tierleichen aller Art bedeckt, wälzten sie dann ihr schlammiges kochendes Wasser der Küste zu."

Daß diese Laharströme nach den Hauptausbrüchen sehr ruhig fließen, dafür gibt abermals Junghuhn einen ausgezeichneten Beleg, indem er das Beispiel eines Mannes erwähnt, der vor einem Laharstrome fliehen wollte, dabei aber von der Krone einer umstürzenden Kokospalme bedeckt und so gerettet wurde, weil der Schlamm wie ein Gewölbe über ihn hinwegfloß; woraus folgt, daß der Schlamm weder sehr flüssig noch sehr heiß war. Ein noch treffenderes Beispiel erzählt Carthaus von einem Plantagenadministrator, der in einen Laharstrom geriet und dabei die Empfindung hatte, in einem lauwarmen Sandbrei stromabwärts getrieben zu werden; er hatte während dieser unfreiwilligen Fahrt keinerlei härtere Stöße von dem mitgeführten Gestein zu erleiden.

Die diluviale Altersbestimmung der Pithecanthropus-Schichten wird auch gestützt durch die von Martin [1]) ausgeführte Bestimmung der Süßwasser-Molluskenreste, die sich allerdings nur auf acht Arten bezieht. Sie sind sämtlich noch lebend, nur die eine Varietät weicht etwas von dem rezenten Vertreter ab. Daß diese kleine Fauna noch heute in den Sümpfen der heißen Tieflandzone auf Java vorkommt, ist kein besonders schwerwiegendes Argument gegen die aus der fossilen Flora abgeleitete klimatische Depression. Denn wie die Wasserpflanzen eignet sich die Wasserfauna nicht gut zu Schlüssen auf die Lufttemperatur, da es sehr leicht möglich ist, daß die Temperatur der Seen während der Pluvialperiode höher war als die Lufttemperatur; es sei hier nur erwähnt, daß die Bodentemperatur zu Pasuruan auf Java (1700 m) um 3^0 höher ist als die Lufttemperatur. Die von Martin angegebene Paludina javanica kommt übrigens nach Junghuhn auch in den Sumpfseen der gemäßigten Region vor, die, wie ja auch für die Flora gezeigt wurde. eigentlich eine Übergangszone zu der kühlen oder Eichenzone und daher bei so spärlichem Material schwer zu erkennen ist.

---

[1]) Vgl. Martin-Icke, Die fossilen Gastropoden in Selenka-Blanckenhorn, Die Pithecanthropus-Schichten auf Java 1911.

Noch weniger fällt die so reich vorhandene Säugetierfauna[1]) ins Gewicht, an der sich allerdings ein gewisses nordisches Gepräge nicht leugnen läßt. Es ist von hohem Interesse, in ihr eine altertümliche Tiergesellschaft kennen zu lernen, aber für die Altersbestimmung sind die Knochen dieser Säuger nicht beweisend, denn die als Leitfossilien für die Pliozänfauna Ostasiens erkannten Arten sind in Trinil nicht vorhanden und außerdem kennt man in Asien keine ganz sichere diluviale Säugetierfauna, es ist also unbekannt, welche Gattungen und Arten von altertümlichen Säugetieren im Altdiluvium jener Länder noch lebten und welche im Jungpliozän schon ausgestorben waren. Hätte ich die Pflanzen nur mit den jetzt noch auf Java lebenden verglichen, so wäre fast die Hälfte der 51 fossilen Arten nicht zu identifizieren gewesen und — das Pliozän wäre fertig. Nur durch Vergleichung der gesamten Flora des indo-australischen Archipels war eine Identifizierung sämtlicher Reste möglich.

Am Schlusse dieses Abschnittes sei nur noch auf zwei Tatsachen hingewiesen, in denen ich eine weitere Stütze für meine Ansichten erblicke.

Bei Tritek, am Südabhange des kleinen, nur 916 m hohen Vulkans Pandan fand Elbert[2]) in den oft 150 m tief eingeschnittenen Tälern ein fast ebenso vollständiges Profil wie bei Trinil. Die fossile Tritekflora[3]), die ich im Ryksherbarium zu Leiden sah, enthält nur zwei Arten: mehrfache Abdrücke der Myrtacee Caryophyllus floribundus Miq. und in großer Anzahl die Theacee Gordonia excelsa Bl. Beide finden sich (siehe S. 37 und 39) in der Umgebung von Trinil noch lebend, erstere bei 1300—1400 m, letztere bei 2900—3200 m, geht jedoch bis 600 m herab. Gordonia excelsa wächst am Ost-Himalaya, im Khassigebirge, auf der Malaiischen Halbinsel, Sumatra und Java, Caryophyllus floribundus (= Eugenia confertiflora K. et V. und Eugenia bracteolata Wight) ist außer von Java, wo sie auch bei 400 m im heterogenen immergrünen Urwald auftritt, nur noch von Ostindien[4]) bekannt. So weisen auch diese wenigen Pflanzen auf das feuchte und gemäßigte Klima der temperierten Zone, nicht aber auf die kühle Gewächszone, wie Elbert annahm.

Ein ganz besonderes Interesse beanspruchen in diesem Zusammenhange die von dem Ingenieur van Heuckelum gesammelten Blattabdrücke von Lasem[5])

---

[1]) Vgl. hierüber Dubois in Tijdschr. K. Nederl. Aardrijksk. Genootsch. XXV, 6, 1908 und Stremme in Selenka-Blanckenhorn, Die Pithecanthropus-Schichten auf Java 1911 sowie im Centralbl. f. Min. etc. 1911, no. 2 und 3.

[2]) Über prähistorische Funde aus den Kendeng-Schichten Ostjavas. Anthrop. Korrespondenzbl. 39, 1908, S. 128.

[3]) Vgl. die Abbildungen in meiner Seite 9 Fußnote zitierten Akademie-Abhandlung.

[4]) Wight, Il. Pl. Ind. or. II, 1843, t. 531, S. 2.

[5]) Siehe Julius Schuster, De l'âge géologique de Pithécanthrope et de la période pluviale à Java, Compt. Rend. Acad. Paris, t. 151, p. 779—781, 1910.

in dem Verwaltungsdistrikte Binangun der Residentschaft Rembang. Letztere grenzt im Süden an Madiun, im Norden an das Meer und besteht daselbst aus weiten Kalkebenen. Hier erhebt sich ein 70 bis 80 cm hohes Plateau, das ausschließlich aus weißen horizontalen Kalktuffen besteht und von Kalkmergeln unterlagert wird. Die darin enthaltenen Blattreste wurden von einem Schlammstrom (Laharstrom), der einem Flußbett folgte, in einem Sumpfsee (Rawah) abgelagert. Diese weißen horizontalen Kalktuffe sind nun ohne Zweifel quartäre Ablagerungen; sie haben also mit den Eruptivmassen der alten Andesite und den knochenführenden Tuffen, die sich aufgerichtet haben, nichts zu tun. Aber auch die vulkanischen Gebilde der alten Andesite erreichen keine große Höhe: der Gunung Lasem, östlich von Lasem, 807 m und die höchste Erhebung, der Gunung Pandan, an der Grenze von Madiun, 906 m, eine Höhe, zu der verschiedene Pflanzen der temperierten Zone, wie z. B. Viburnum coriaceum, nicht herabsteigen.

Die fossile Flora der weißen Tuffe von Lasem (siehe Tafel 22) ließ folgende Arten erkennen:

Castanopsis Curtisii King, mehrfach;
Quercus lamellosa Hook. f. et Thoms., einmal;
Ficus callosa Willd., einmal;
Flueggea obovata M. Arg., mehrfach;
Mallotus moluccanus M. Arg., einmal;
Uvaria purpurea Bl., einmal;
Unona discolor Vahl, mehrfach;
Dehaasia squarrosa Miq. et Zoll., einmal;
Tetracera sarmentosa (L.) Willd. var. hebecarpa (DC.) Hook. f. et Thoms., mehrfach;
Indigofera tinctoria L., mehrfach;
Deguelia (Derris) elliptica Benth., mehrfach;
Viburnum coriaceum Bl., mehrfach.

Wie man sieht, sind von diesem Dutzend Arten sämtliche mit Ausnahme von Quercus lamellosa mit der Flora von Trinil identisch. Die bei Trinil fossil noch nicht gefundene Quercus lamellosa, eine bis 40 m hohe Eiche, wächst heute nur noch auf dem Festland und zwar in der temperierten Region von Sikkim in einer Höhe von 1500 bis 2400 m, erreicht also gerade die obere Grenze der gemäßigten Region; mit der Form vom Himalaya vollständig übereinstimmende Eichenblätter hat v. Rosthorn von Sze ch'uan in Zentralchina mitgebracht, das durch sein feuchtes und wolkiges Klima, sowie eine hohe Regenmenge ausgezeichnet ist. Es ist wohl kein Zufall, daß auch eine andere

bei den Ablagerungen gemeinsame Pflanze, Viburnum coriaceum, in Sze ch'uan die Nordgrenze ihrer Verbreitung findet.

Zum Vergleich sei noch eine Pflanzengenossenschaft von Sikkim angeführt: Quercus lamellosa, Ficus variegata, Loranthus pulverulentus, Unona discolor, Viburnum coriaceum.

Besonders bemerkenswert ist unter der fossilen Flora von Lasem der sichere Fund einer Eiche; denn außer den Kastanienbäumen sind es namentlich auch die Eichen, die an der oberen Grenze der gemäßigten Region das Vegetationsbild zusammensetzen.

Die Wichtigkeit der fossilen Flora von Lasem ist demnach einleuchtend. Einmal stellt sie eine der Trinilflora äquivalente Vegetation aus einer zweifellos diluvialen Schicht dar; ferner beweist sie in schönster Übereinstimmung mit der Trinilflora, daß diese Pflanzen, deren fossiles Vorkommen die Höhe von 80 m nicht überschreitet, heute erst in einer Höhe von 650 bis 1500 m angetroffen wurden und zwar an der oberen Grenze dieser gemäßigten Region; die Erhebung der Ablagerung von Lasem bis zu 80 m stützt die Anschauung, daß die darin eingeschlossene und mit der von Trinil homologe fossile Flora dem der Mindeleiszeit äquivalenten Höhepunkt der großen Pluvialperiode angehört; entsprechend den lokalen Verhältnissen von Lasem kann für das fossile Vorkommen der Pflanzen ein Herabschwemmen nicht in Betracht kommen.

Nach den obigen Ausführungen stehe ich nicht an, Viburnum coriaceum geradezu als Leitfossil der altquartären Pluvialperiode auf Java zu betrachten, die außerdem durch Pflanzen wie Castanopsis Curtisii, Altingia excelsa, Tetranthera alnoides und Mesua ferrea charakterisiert wird.

Pithecanthropus erectus kommt durch diese Altersbestimmung zeitlich in eine gewisse Nähe zu Homo heidelbergensis, der am besten in die Übergangsphase zwischen drittletzter Glazialzeit (Mindeleiszeit) und vorletzter Interglazialzeit (Mindel-Riß-Zwischeneiszeit) zu stellen ist. Schätzen wir mit Penck das Alter des Homo heidelbergensis auf 300 000 Jahre, so dürfte die Behauptung, daß Pithecanthropus mindestens 400 000 Jahre alt ist, in keiner Weise zu weitgehend erscheinen. Zu Gunsten oder Ungunsten der Affennatur des Pithecanthropus ist natürlich diese Altersbestimmung in keiner Weise zu verwerten; solange die Funde so spärlich sind wie bisher, ist die Auffassung, ob hochorganisierter Affe, missing link, Bastard oder primitiver Mensch einer östlichen Rasse immer nur der Ausdruck dafür, daß man niemals die Grenzen ohne Willkür scharf ziehen kann.

V.

Pflanzengeographische Ergebnisse.

Ein Ergebnis der vorhergehenden Betrachtung ist pflanzengeographisch und biologisch von Interesse. Es liegt in dem hier zum ersten Male auf paläontologischer Grundlage erbrachten Nachweise, daß in der altdiluvialen Zeit auf Java eine Periode herrschte, die ein gemäßigteres und regenreicheres Klima besaß als die Gegenwart; wieweit die Abkühlung dieser Periode ging, geht schon daraus hervor, daß sie eine Verschiebung der Vegetation um eine ganze Höhenzone zur Folge hatte.

Von nicht geringerem Interesse sind die Beziehungen der fossilen Flora von Trinil zur rezenten, weil sie uns einen tiefen Blick in die pflanzengeschichtliche Entstehung des malaiischen Florengebietes tun lassen.

Warburg [1]), der diese Gegenden selbst bereist hat, gibt folgende Einteilung des südasiatisch-polynesischen oder — wie ich es lieber nennen möchte — indoaustralischen Florenreiches, die im folgenden mit geringfügigen Abänderungen wiedergegeben sei:

Indoaustralisches Florenreich.

I. Indische Gruppe:
- A. Indusgebiet.
- B. Dekkangebiet.
- C. Südindisch-ceylonisches Gebiet.
- D. Himalayagebiet.
- E. Birmanisch-bengalisches Gebiet.
- F. Sino-indisches Gebiet (Siam, Tonking, Cochinchina).

II. Malaiische Gruppe:
- A. Westmalaiisches Gebiet (Malaiische Halbinsel, Sumatra, Java, Borneo).
- B. Nordmalaiisches Gebiet (Philippinen).
- C. Ostmalaiisches Gebiet (Celebes, Molukken, Kleine Sunda-Inseln).

III. Papuasische Gruppe:
- A. Westpapuasisches Gebiet (Neu-Guinea, Neupommern, Neumecklenburg).
- B. Südostpapuasisches Gebiet (Neu-Caledonien).

Vergleicht man damit die Liste der fossilen Flora von Trinil, so ergibt sich, daß diese eine Mischflora aus den obengenannten 12 Gebieten darstellt und darin besteht eben die große Bedeutung der Ablagerung von Trinil für

[1]) Monsunia, Beiträge zur Kenntnis der Vegetation des südostasiatischen Monsungebietes I, 1900.

die Pflanzengeschichte, daß hier Arten, die heute weit entfernte oder durch starke Lücken entfernte Areale bewohnen, in altdiluvialer Zeit zusammen gefunden werden. Daraus geht zugleich deutlich hervor, daß die berühmte Wallace-Linie, welche, längs der Ostseite der Philippinen und Borneos verlaufend, den Archipel in eine westliche Hälfte mit asiatischen und eine östliche mit australischen Elementen trennen sollte, in altdiluvialer Zeit ebensowenig existierte als sie auch heute vom botanischen Standpunkt aus in Abrede zu stellen ist. Will man die heutige Verbreitung der bei Trinil gefundenen Pflanzen erklären, so muß man sich vergegenwärtigen, daß es sich hier, wie bei den meisten fossilen Floren überhaupt, um eine Baumflora handelt; sie enthält keine Pflanzen, deren Samen und Früchte durch die Wellen des Ozeans verbreitet werden wie z. B. das aus dem Miozän von Java durch Raciborski beschriebene Pangium Treubii; auch eine Verbreitung durch Vögel wäre höchstens bei den von einer arillusartigen Pulpa eingehüllten Samen von Garcinia dulcis denkbar. Daher läßt sich die Verbreitung einer derartig reichen Baumflora auf dem indoaustralischen Archipel nicht anders als durch ehemalige Landverbindungen erklären, denn es ist nicht möglich, daß so viele tropische Waldbäume die Wanderung über so bedeutende Meeresstrecken glücklich überstehen; derartige Fälle sind stets seltene Ausnahmen.

Es fragt sich nun, welche Landverbindungen notwendig sind, um diese Verbreitung zu erklären und in welcher Zeit sie existierten.

Werfen wir nun einen kurzen Blick auf die Geologie des indoaustralischen Archipels, so brauchen wir — geologisch gesprochen — nicht sehr weit zurückgehen. Noch im Eozän lag ein großer Teil des indoaustralischen Archipels unter Wasser, eine weite See schied Asien und Australien. Da es aber höchst wahrscheinlich ist, daß Asien und Australien einen gemeinsamen Kontinent gebildet haben, so ist die Annahme kaum zu bezweifeln, daß die Abtrennung der beiden Kontinente in der Kreidezeit erfolgte. Die lange Isolierung ermöglichte die Ausbildung der eigentümlichen Lebewelt Australiens; in den Ablagerungen der obersten Oberkreide von Australien findet man schon Eucalyptusbäume und Eichen zusammen mit marinen Muscheln. Im Miozän entstand die Insel Celebes und wurde von Java aus besiedelt. Von dieser miozänen Vegetation kennen wir auch fossile Pflanzenreste aus Sumatra, Java und Borneo und es steht unzweifelhaft fest, daß diese Pflanzen der malaiischen Flora der Gegenwart rücksichtlich der Gattungen sehr ähnlich sind. Die Hebung der Länder steigert sich im Pliozän und während des Höhepunktes der Pliozänperiode bestehen die ausgedehnten Landverbindungen, die es Tieren wie Pflanzen ermöglichen, vom indischen Festland bis nach Australien vorzudringen und

umgekehrt. In dieser pliozänen Landperiode erfolgte die Vermischung der asiatischen und australischen Tier- und Pflanzenformen; mit der im Pliozän erfolgten Aufrichtung des Himalaya begann offenbar eine Klimaverschlechterung, die vom Himalaya ausgehend gegen das Ende der Pliozänzeit immer mehr zunahm und in jungpliozäner Zeit eine starke thermische Depression zu Folge hatte, die großartige Verschiebungen der Pflanzenwelt verursachte. Die Pflanzen des temperierten Himalaya (und ebenso die Tiere) wanderten auf den damals noch bestehenden Landbrücken nach Osten, und zwar zogen natürlich die empfindlicheren Arten der Tropenregion früher aus als die der temperierten und kühleren Zone angepaßten, so daß sich diese große Verschiebung in mehreren, mindestens drei Etappen vollzogen haben wird, wie auch die heutige geographische Verbreitung der Trinilpflanzen ausweist.

Betrachten wir mehrere Pflanzen, bei denen die Verbreitung von dem gleichen Gebiet ausgeht, nämlich von dem des temperierten Himalaya bei 1200 m oder des feuchten Assam bei der gleichen Höhe, wo sämtliche Arten unter den gleichen äußeren Faktoren leben, so sehen wir doch in ihrem jetzigen Verbreitungsareal nach Osten graduelle Verschiedenheiten. Ficus infectoria geht wie Ficus retusa von Ostindien bis Neu-Guinea, ein anderer Feigenbaum jedoch, Ficus indica, erreicht schon auf den Philippinen seine Ostgrenze und eine mit den gesamten Feigenbäumen in Assam vorkommende Anonacee, Unona discolor, geht nur mehr bis Celebes; Viburnum coriaceum endlich, der charakteristische Schneeball des temperierten Himalaya, erreicht schon auf Java seine Ostgrenze.

Diese eigenartige geographische Verbreitung kann nur durch Einwanderungen erklärt werden, die zu verschiedenen Zeiten und auf verschiedenen Landverbindungen erfolgten. Wir können demnach drei Invasionen unterscheiden, die im Jungpliozän vom Himalaya aus gegen Osten erfolgten und von denen die eine und größte bis Australien ging, die zweite bis zu den Philippinen und Celebes, während die dritte in Java ihren Endpunkt fand. Diese Invasionen erfordern daher die entsprechenden Landverbindungen. Nun ist es sicher, daß in umgekehrter Reihenfolge, als die Vorstöße nach Osten erfolgten, die entsprechenden Landbrücken einbrachen und der Verbreitung der westlichen Elemente engere Grenzen setzten.

Schon gegen das Ende der Pliozänzeit geschah die langsame Auflösung der Landverbindungen infolge von Einbrüchen, zuerst die Auflösung der Verbindung mit Australien durch Einbruch der Brücken über die Molukken und Timor, so daß sich die zweite jungpliozäne Invasion nur mehr bis zu den Philippinen über Celebes erstrecken konnte. Aber auch die Landbrücken nach den Philippinen und Celebes brachen am Ende der Pliozänzeit, wahrscheinlich

gleichzeitig ein und die dritte und letzte jungpliozäne Invasion fand in Java die natürliche Grenze ihrer Verbreitung. Java trennte sich nach den Forschungen der Gebrüder Sarasin erst in altdiluvialer Zeit ab, durch Einbruch der Javabrücke entstand die Sundastraße.

Mag man nun mit den Sarasins den Einbruch der Javabrücke in die altdiluviale Zeit verlegen oder nicht, jedenfalls blieb diese Insel gegenüber den anderen am längsten mit dem Kontinent in Verbindung und darin beruht das Rätsel der Ablagerung von Trinil, daß sie nämlich einerseits Pflanzen enthält, die jetzt nur mehr im fernen Festlandgebiete von Ostindien vorkommen, anderseits Säugetiere, welche die verschiedenen Entwicklungsstadien zu gleicher Zeit und nebeneinander enthalten; es genügt an Stegodon zu erinnern, die Zwischenform zwischen Mastodon und Elephas, an Tetracerus Kroesenii Dubois, eine äußerst merkwürdige Übergangsform einer Antilopenart, an Dubois' Bibos palaeosondaicus, die von Rütimeyer bereits vermutete Entwicklung einer Bibosform aus der noch etwas an die Antilopen erinnernden Leptobosform, und die Möglichkeit ist vorerst nicht zu leugnen, daß auch Pithecanthropus eine derartige Übergangsform, also wirklich ein missing link darstellt.

Viel weniger wahrscheinlich ist die von einem Forscher ausgesprochene Vermutung, Pithecanthropus könne ein Bastard zwischen Affe und Mensch sein. Wie für die Trinilflora ist auch das Entwicklungszentrum für die Tierwelt im Himalayagebiete zu suchen; dies beweisen die Pliozänablagerungen der Siwaliks, mit deren Fauna diejenige von Trinil gewisse Ähnlichkeiten besitzt. Bei der großen Invasion nach Osten nun, welche gegen das Ende der Pliozänzeit erfolgte, wird sich eine Form a bei ihrer Wanderung über die drei großen Sunda-Inseln, Celebes, die Philippinen, Molukken, Timor, Neu-Guinea und Australien in eine Art a_1, a_2, a_3 . . . a_n umgebildet haben, so daß ein lückenloser Übergang zwischen a und a_n von Ost nach West besteht. Nun brachen aber noch zur Pliozänzeit in umgekehrter Reihenfolge, wie die Vorstöße nach Osten erfolgten, die entsprechenden Landbrücken ein; die dadurch entstehende Isolierung von West nach Ost bedingte die Entstehung neuer Arten und Endemismen a'_n . . . a'_3, a'_2, a'_1, während die Urformen a allmählich ausstarben. Es müssen sich also die Übergangsglieder a_1, a_2 usw. am längsten auf der Insel erhalten haben, die am längsten mit dem Kontinent in Verbindung stand: das ist Java, und darauf beruht das Problem der organischen Einschlüsse von Trinil.

Diese Bewegungen in der Tier- und Pflanzenwelt sind in das erste Drittel der großen Pluvialperiode zu verlegen und entsprechen nach der bisherigen Einteilung dem Oberpliozän. Hierher gehört die schon erwähnte fossile Flora von Mogi in Japan, die neben ausgestorbenen Arten Elemente des temperierten

Himalaya und des Khassigebirges enthält wie z. B. Rhus Griffithii Hook. f. Die Ansicht von Volz[1]), daß das höhere Pliozän eine Periode der Trockenheit war, dürfte sich kaum aufrecht erhalten lassen, insbesondere fehlen dafür jegliche paläontologischen Anhaltspunkte.

In ihrem zweiten Drittel erlitt die Pluvialzeit eine vorübergehende Unterbrechung durch eine relativ kurze Trockenperiode, während der die älteren Relikte der Flora ausstarben, die eingewanderten Arten gemäßigter Zonen jedoch blieben bzw. höhere Regionen bewohnten.

Als dann mit dem letzten Drittel der Pluvialperiode, das der Mindeleiszeit entsprechen dürfte, die Niederschläge ihren Höhepunkt erreichten, wanderten die Pflanzen der gemäßigten Klimate wieder in die Ebenen und zwar aus den benachbarten Höhen, während sie vielleicht an besonders günstigen Stellen die kurze Pluvialzeit auch im Tiefland überdauert haben. In diesen Höhepunkt der Pluvialperiode fällt, wie wir sahen, die Flora der Pithecanthropusschichten.

Auf diese Pluvialzeit folgte eine Trockenperiode, die offenbar von Osten her einwirkte und zur Folge hatte, daß das östliche Java ein trockeneres Klima besitzt als Westjava. Daher stellen die Wälder von Trinil heute eine Mischflora zwischen West- und Ostjava dar, während sie in altdiluvialer Zeit typische Regenwälder der gemäßigten Zone waren. Durch die Armut von Niederschlägen entwickelten sich im Osten Javas die Elemente der australischen Flora stärker und so kommt es, daß heute mit der östlichen Entfernung von Java auch der australische Charakter der Flora entsprechend der größeren Trockenheit und der Wirkung des Ostmonsuns mehr und mehr zunimmt. In dieser postpluvialen Zeit bildete sich also ein gewisser Gegensatz zwischen West und Ost heraus, ein Gegensatz, der seiner allmählichen Entstehung nach natürlich keine abgezirkelten Pflanzenprovinzen ergibt, wie man sie sehr hübsch in botanischen Gärten, nicht aber in der Natur findet. Es wurde schon früher gezeigt, daß die berühmte Wallace-Linie unrichtig ist und vom botanischen Standpunkt ebenso in Abrede zu stellen ist, wie es von Seite der Zoologen schon vor längerer Zeit geschehen ist. Will man aber zur besseren Veranschaulichung die ungefähre Grenze zwischen der indischen und australischen Region angeben, so verläuft diese im Bogen zwischen Celebes und Borneo, endigt im Südwesten an der ehemaligen Javabrücke und erreicht im Norden die pliozäne Landverbindung zwischen Nordcelebes und den Philippinen; es ist dies die von den Brüdern Sarasin auf Grund ihrer Studien in Celebes gefundene Sarasin-Linie, die demnach seit dem Ende der großen Pluvialperiode existiert.

---

[1]) Jungpliozänes Trockenklima in Sumatra und die Landverbindungen mit dem asiatischen Kontinent. Gaea 45, 1909.

Unter den Wirkungen einer Trockenperiode befindet sich die Insel Java offenbar noch heute, denn die größere Feuchtigkeit bedürfende Flora Westjavas weicht langsam zurück.

So wird durch die Hilfe der Paläontologie die Zahl der festen Positionen größer, die als Stützpunkte für die Pflanzengeographie und Pflanzengeschichte dienen können.

Zusammenfassung der allgemeinen Resultate.

1. Die fossile Flora der Pithecanthropus-Schichten gehört ein und derselben Epoche ohne wesentliche klimatische Schwankungen an.
2. Sie enthält nur heute noch lebende Arten und ist daher nicht älter als diluvial.
3. Sie spricht für ein im allgemeinen kühleres und regenreicheres Klima zur Zeit der Ablagerung im Vergleich zu dem jetzt in dem gleichen Gebiete herrschenden.
4. Sie fällt daher in den der Mindeleiszeit entsprechenden Höhepunkt der großen Pluvialperiode.
5. Ihre Zusammensetzung besteht aus dem Ursprunge nach verschiedenen Elementen.
6. Die Ergebnisse 1—5 werden durch die fossile Flora von Lasem aus einer zweifellos diluvialen Schicht bestätigt.

Damit sind folgende wichtige Tatsachen bewiesen:

I. Das altdiluviale Alter des Pithecanthropus.
II. Die Pluvialzeit auf Java.
III. Der Mischcharakter der „malaiischen“ Flora.

Epilog.

Sechzehn Männer haben sich in der letzten Zeit mit dem Problem beschäftigt, welches geologische Alter der Pithecanthropus besitzt. Den Anstoß dazu, daß sich jetzt alle Fische im Teiche rühren, hat das reiche Material gegeben, das Lenore Selenka den Fachgenossen vorgelegt hat. Wie nicht anders zu erwarten, enthält das abschließende Werk, das jetzt herausgebracht wurde [1], statt einer Meinung deren viele. Blanckenhorn [2] hat sich in einem Schlußwort der Penelope-Arbeit unterzogen, die verschiedenen Behauptungen wieder aufzudröseln und daraus die Summe zu ziehen.

Diese ist freilich nicht in jedem Sinne befriedigend. Darüber herrscht zwar Einigkeit, daß der Pithecanthropus in der großen Pluvialzeit lebte, doch ist diese Altersbestimmung verschwommen, und die sie schärfer begrenzten, haben dies nicht alle in gleicher Weise getan.

Wohl charakterisierte Pluvialperioden kennt man aus dem Oberpliozän und Diluvium und so kann es sich im Grunde nur um die Frage handeln, ob der spätpliozäne oder frühdiluviale Abschnitt des langen Pluvials in Betracht kommt.

Bei dieser schwierigen Frage findet sich ein wichtiger Stützpunkt in der fossilen Flora von Mogi in Japan. Es ist vollkommen sicher, daß sie gleich derjenigen von Trinil der großen Pluvialperiode angehört, aber unter den 51 Arten von Mogi sind 20 ausgestorben, unter der gleichen Artenzahl, welche Trinil geliefert hat, nicht eine einzige, ja selbst bestimmte Varietäten, also jüngere Formveränderungen, sind hier in überraschender Übereinstimmung erhalten. In beiden Fällen brauchen wir über die der Günz- und Mindeleiszeit entsprechende große Pluvialperiode nicht hinausgehen: ein jüngeres Alter verbieten bei Mogi die 20 ausgestorbenen Pflanzenarten, bei Trinil die fünf erloschenen Tiergattungen.

Demnach kann die fossile Flora von Trinil nur angehören: entweder dem der Günzeiszeit äquivalenten ersten Drittel der Pluvialperiode; oder der darauf

---

[1] Die Pithecanthropus-Schichten auf Java. Geologische und paläontologische Ergebnisse der Trinil-Expedition. Herausgegeben von M. Lenore Selenka und Prof. Max Blanckenhorn unter Mitwirkung zahlreicher Fachgelehrten (Leipzig, bei W. Engelmann, 1911).

[2] Allgemeine Betrachtungen über die wissenschaftlichen Ergebnisse der Selenka-Trinil-Expedition, S. 258—268.

im zweiten Drittel folgenden kurzen Inter-Pluvialzeit; oder dem der Mindeleiszeit parallelen letzten Drittel der Pluvialperiode, welches zugleich deren Höhepunkt darstellt.

Davon scheidet die zweite Möglichkeit ohne weiteres aus, weil die Zusammensetzung der Mogiflora das heute in dem hochliegenden Teile von Japan vorhandene Klima andeutet und die Vegetation von Trinil um einen ganzen Höhengürtel von der heutigen verschieden ist. Da nun aber die Trinilflora gegenüber derjenigen von Mogi paläontologisch entschieden einen jüngeren Charakter aufweist, kann letztere nur dem der Günzeiszeit äquivalenten ersten Drittel der großen Pluvialperiode, erstere nur dem letzten Drittel oder Höhepunkt derselben entsprechen; d. h. die Flora von Mogi fällt in jene Periode, über deren Zugehörigkeit zum Pliozän oder Diluvium die Meinungen auch bezüglich der europäischen Verhältnisse noch geteilt sind, nämlich das bisherige Oberpliozän mit Elephas meridionalis.

Es ist nun für die Altersbestimmung des Pithecanthropus vollständig gleichgültig, ob man jene erste ausgesprochene Glazial- bzw. Pluvialperiode dem Pliozän oder Diluvium angliedert — dies ist lediglich eine Nomenklaturfrage —, denn die Trinilflora ist, wie jeder Paläontologe zugeben muß, jünger und fällt somit in eine Zeit, die allen Forschern ohne Ausnahme als Altdiluvium gilt, nämlich die Mindeleiszeit.

Darum halte ich wie in meinem Vortrag in der Anthropologischen Gesellschaft zu München vor zwei Jahren [1]) an dem damals aufgestellten Satze fest: die fossile Flora beweist mit aller paläontologischen Sicherheit das altdiluviale Alter des Pithecanthropus; dieser lebte während des der Mindeleiszeit entsprechenden Höhepunktes der großen Pluvialzeit und ist demnach nur durch eine halbe Eiszeit vom Homo Heidelbergensis getrennt, der am besten in die Übergangsphase zwischen der Mindeleiszeit und Mindel-Riß-Zwischeneiszeit zu stellen ist. Ich betone dies hier mit allem Nachdruck im Hinblick auf Referate [2]), die für viele aus leicht begreiflichen Gründen die einzige Quelle sind, aus der sie schöpfen und außerdem deshalb, weil immer noch von verschiedenen Seiten behauptet wird, man könne über das Alter des Pithecanthropus absolut nichts Sicheres sagen [3]). Wer nicht geneigt ist, sich durch apriorische Argumente imponieren zu lassen, dürfte darum dem Votum jener Autoritäten hier geringere Bedeutung beimessen.

---

[1]) 26. November 1909.

[2]) L. Plate im Archiv für Rassenhygiene 1911 und Biolog. Zentralblatt 1911, S. 319.

[3]) Branca, Über den gegenwärtigen Stand unserer Kenntnis vom fossilen Menschen, Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges. (Monatsber.) 1911, S. 150; Hoernes, Das Aussterben der Arten und Gattungen etc., Graz 1911, S. 91.

Daß die altdiluviale Altersbestimmung wirklich die richtige sei, das bewährt sich noch durch viele Tatsachen, die daraus begreiflich werden. Nicht nur enthalten die Äußerungen derjenigen, die anderer Meinung sind, vieles, was für die Berechtigung des altdiluvialen Alters spricht, sondern sie steht mit allen Tatsachen am besten im Einklang, wie sie selbst auch auf paläontologischen Tatsachen und nicht auf schwachfüßigen Hypothesen beruht.

Die der paläophytologischen Forschung Fernerstehenden glauben diesen durch die fossile Flora geklärten Befund des altdiluvialen Alters mit dem altertümlichen Charakter der Säugetiere von Trinil nicht vereinen zu können; für den Botaniker ist diese scheinbar unüberbrückbare Kluft zwischen der Säugetierfauna und der Zusammensetzung der Vegetation gar nichts Wunderbares. Die diluvialen Ablagerungen Europas beherbergen eine ausschließliche rezente Flora und doch lebten damals Überbleibsel der Tertiärzeit wie Rhinoceros etruscus oder die Gattung Machaerodus, der Säbeltiger, die Molluskenfauna zeigt aber wie in Trinil eine rein diluviale Zusammensetzung. Die Säugetierreste von Mauer, der berühmten Fundstelle des „Heidelbergers“, zeigen deutliche Beziehungen zu den präglazialen Forestbeds von Norfolk, sowie zu dem südeuropäischen Oberpliozän, während die Flora analoger Ablagerungen einen durchaus rezenten Charakter trägt. Nichts anderes gilt für Trinil, wobei in diesem speziellen Falle noch die lange andauernde Verbindung Javas mit dem Festland in Betracht gezogen werden muß.

Zudem hat die Flora von Tritek, wo sich ein ganz ähnliches Profil wie bei Trinil darbot, sowie diejenige von Lasem, die aus einer zweifellos diluvialen, Knochen nicht führenden Schicht stammt, dasselbe Resultat ergeben wie die Vegetation von Trinil.

Ohne mich einseitig auf die fossile Flora zu stützen, sondern in voller Berücksichtigung aller geologischer und paläontologischer Tatsachen, wie sie das Selenkawerk auf so breiter Basis ausführt, komme ich immer wieder, nachdem ich meine 1909 ausgesprochene Ansicht wiederholt revidiert und an der Kritik anderer geprüft habe, zu dem Ergebnis, daß der Pithecanthropus mit voller paläontologischer Sicherheit als **altdiluvial** zu erklären ist.

Obwohl es nach dieser Altersbestimmung kaum mehr zweifelhaft sein kann, daß damals schon Menschen auf Java lebten, sind doch aus den Pithecanthropus-Schichten selbst nur unsichere und zweifelhafte Reste von möglicherweise als Werkzeuge benützten Knochenfragmenten eingebracht worden[1]; mich selbst hat die Betrachtung der Originalstücke ebensowenig überzeugen können

[1]) Vgl. Carthaus im Selenkawerk, S. 233.

wie die Untersuchung der gesammelten Holzkohlen. Spuren echter Menschenexistenz fehlen an den ausgegrabenen Plätzen völlig. Was den im alluvialen Geröll unweit des Sondebaches gefundenen linken unteren Molar eines Erwachsenen anlangt, dessen Alter zwischen jungpliozän und jungdiluvial schwankt[1]), so ist dieser nach meiner Meinung sicher nicht aus ähnlichen Schichten wie der Pithecanthropus, denn die Schmelzkappen der Tierzähne von Trinil sind an dem blaugrauen Andesittuff, mit dem sie erfüllt sind, leicht kenntlich. Wenn nun auch analog erhaltene Schmelzkappen aus dem Diluvium bis jetzt nicht bekannt sind, so glaube ich deshalb doch nicht, daß der Sondezahn einem Tertiärmenschen angehörte, denn in den Tropen gehen die Verwitterungsprozesse viel rascher vor sich. Davon überzeugten mich namentlich verkieselte Hölzer eines nicht näher bestimmbaren Feigenbaumes, bei denen die Zellräume fast vollständig mit amorpher Kieselsäure angefüllt waren, wie es sonst nur bei einer wirklichen Verkieselung fossiler Baumstämme der Fall ist; diese Hölzer stammten aber aus der Kulturschicht von Klitek westlich von Trinil, wo sie zusammen mit prähistorischen Scherben gefunden wurden. So könnte auch jene fünfhöckerige Schmelzkappe von Sonde ziemlich jungen Alters, kaum aber tertiär sein.

Leider erfahren durch die altdiluviale Altersbestimmung die den Pithecanthropus selbst betreffenden Auffassungen keinerlei Klärung. Eine solche wäre nur von weiteren Funden zu erwarten gewesen, welche der Selenka-Expedition leider versagt blieben. Wenn aber P. Wasmann[2]) den Pithecanthropus wegen des diluvialen Alters aus der Ahnenreihe des Menschen ausscheidet, so ist dies vorerst ebensosehr persönliche Meinung wie die Deutung des Pithecanthropus als missing link, denn die Möglichkeit, daß, wenn der Mensch von tierischen Ahnen abstammt, diese anfänglich mit ihm zusammenlebten (vielleicht bis sie von ihm ausgerottet wurden), muß vom naturwissenschaftlichen Standpunkt — und dieser allein kommt bei naturhistorischen Fragen in Betracht — unbedingt zugegeben werden, auf welchem Standpunkt auch immer man persönlich stehen mag. So wie sich der Pithecanthropus nach den vorliegenden Funden mir selbst darbietet, vermag ich mich nur der Ansicht meines hochverehrten Lehrers Johannes Ranke anzuschließen und den Pithecanthropus für einen hochorganisierten Affen zu halten, von dem der Gibbon einen abgesunkenen Zweig darstellt.

---

[1]) Siehe Blanckenhorn in Zeitschr. f. Ethnologie 1910, S. 337 sowie Walkhoff und Dieck im Selenkawerk.

[2]) Stimmen aus Maria-Laach 1911, S. 188, Fußnote 2.

Jedenfallls aber kommt dem Pithecanthropus, was immer er auch sein mag, ein so hohes phylogènetisches Interesse zu, daß es vollauf gerechtfertigt erscheint, sich mit seinem geologischen Alter so eingehend wie möglich zu beschäftigen und es zu klären. Ein hübscher Nebengewinn dieser Aufgabe ist das Ergebnis, daß auf Java zu jener Zeit eine thermische Depression herrschte und bei Trinil eine Pflanzengenossenschaft vereinigt war, die heute auf nicht weniger denn 12 Florengebiete verteilt ist.

So hoffe ich, wird dieser Epilog auch denen nicht ganz unerquicklich sein, welche ihn mit der Kritik der eigenen Erfahrung lesen und die zu überzeugen, aber nicht zu überreden ich mich bemüht habe.

Erklärung der Tafeln.

Die Abbildungen auf den Tafeln I—XXII sind genau um 1/4 verkleinert.

Tafel I.

Fagaceae-Moraceae.

Fig. 1—8: *Castanopsis Curtisii* King. 2 (Oberseite) und 5 (Unterseite) nach Material von Beccari, Piante bornensi, no. 3281. Vgl. auch Taf. XXVI, Fig. 1—5 und Taf. XXII, Fig. 1—2. — Fig. 9: *Artocarpus* cf. *altissima* J. J. Smith, männliche Infloreszenz verkohlt, nahezu median gespalten. 10 männlicher Blütenstand von *Artocarpus altissima* J. J. Smith, modifiziert nach Icon. Bogor.; 11 desgl. zum Vergleich von *Artocarpus bornensis* Warb., nach einem Exemplar von Beccari, Piante bornensi, no. 935. — Fig. 9—11 doppelt vergrößert.

Tafel II.

Moraceae.

Fig. 12: *Streblus asper* Lour. Vgl. auch Taf. III, Fig. 19—20. — Fig. 13—18: *Artocarpus rigida* Bl. 14 ein kleines Stück des Blattabdruckes Fig. 13 mit den anastomosierenden Nerven in doppelter Vergrößerung; 15 Oberseite eines Blattes aus Java (ex Herb. Lugd.-Bat.); 17 eine andere Blattform mit engeren und steileren Nerven (Unterseite) von Perak (Herb. Hort. Calcutt., no. 7612).

Tafel III.

Moraceae.

Fig. 19—20: *Streblus asper* Lour. 20 rezentes Blatt von den Andamanen (Herb. Hort. Calcutt., no. 1884). — Fig. 11—22: *Ficus indica* L. Vgl. auch Taf. V, Fig. 35—36. 22 nach einem Exemplar aus Java (It. Warburg., no. 2727). — Fig. 23—27: *Ficus retusa* L. Vgl. auch Taf. IV, Fig. 28—31. 24 nach einem von Zollinger (no. 665) auf Java gesammelten Blatt; 25 Flächenansicht der Blattepidermis (Unterseite) mit den Spaltöffnungen und Lithocysten ohne Spitze (lc) nach einer Gewächshauspflanze aus dem Berliner Botanischen Garten; 26 und 27 desgl. nach Schliffen der verkieselten Blattfläche, Taf. IV, Fig. 28b.

Tafel IV.

Moraceae.

Fig. 28—31: *Ficus retusa* L. 28b basaler Teil einer verkieselten Blattfläche; 29 Unterseite eines Blattes von Java (It. Warb., no. 3772); 31 breit-ovale Blattform von Constantinhafen (Pl. Guinenses, no. 233, leg. Nyman). — Fig. 32: *Ficus infectoria* Roxb. var. genuina K. et V. — Fig. 33—34: *Ficus infectoria* Roxb. var. *Wightiana* King. 34 Blatt von Ceylon, leg. Thwaites (Urostigma Wightianum Miq.).

Tafel V.

Moraceae.

Fig. 35—36: *Ficus indica* L. 36 Blatt aus Ostindien (Herbar. Sprengel). — Fig. 37—38: *Ficus infectoria* Roxb. var. *monticola* (Miq.) Schuster; 38 Blattoberseite nach Material aus den khassischen Bergen, 1200 m, Herb. Ind. or. Hook. fil. et Thoms. (= Ficus monticola Miq.). — Fig. 39—40: *Ficus variegata* Bl. 40 Oberseite eines Blattes vom Pandan, Java, Res. Madioen, 400—900 m (Elbert, no. 521).

Tafel VI.

Moraceae-Loranthaceae.

Fig. 41—44: *Ficus callosa* Willd. 42 verschmälerte Blattbasis nach einem Originalexemplar aus dem Herbar. Willdenow (no. 19298); 44 Blattform mit gerundeter Basis aus dem Buitenzorger Garten (no. 19130). Vgl. auch Taf. XXXV, Fig. 3—4 und Taf. XXXVI, Fig. 14. — Fig. 45—46: *Loranthus elasticus* Desv. 46 nach Material von Tenasserim (Herb. East. Ind. Comp. no. 2723).

Tafel VII.

Loranthaceae-Euphorbiaceae.

Fig. 47—48: *Loranthus longiflorus* Desv. Wegen der starken Knickung nach dem Negativ des Gipsabgusses gezeichnet. 48 aus Ost-Bengal (Herb. East Ind. Comp., no. 2710, leg. Griffith). — Fig. 49—50: *Loranthus pulverulentus* Wall. 50 Blatt von Burma (Herb. Hort. Calcutt., no. 332). — Fig. 51—53: *Flueggea obovata* Muell. Arg. 53 Blatt vom Pandan, Java, Residenz Madioen, 400—900 m (Elbert, no. 482). Vgl. Taf. XXII, Fig. 5.

Tafel VIII.

Hamamelidaceae-Euphorbiaceae.

Fig. 54—55: *Altingia* (*Liquidambar*) *excelsa* Noronha. 55 nach einem von Blume auf Java gesammelten Blatt. — Fig. 56—57: *Mallotus molluccanus* Muell. Arg. (var. genuinus Muell. Arg.). 57 Oberseite eines Blattes aus dem Buitenzorger Garten (no. 28912). Vgl. Taf. XXII, Fig. 6.

Tafel IX.

Euphorbiaceae-Anonaceae.

Fig. 58—62: *Cleistanthus myrianthus* Kurz. 60 nach einem von Teijsmann auf Java gesammelten Exemplar; 62 von den Andamanen (Kings Coll.). — Fig. 63—64: *Aporosa fruticosa* Muell. Arg. Siehe auch Taf. X, Fig. 67—68. 64 von Singapore. — Fig. 65—66: *Uvaria zeylanica* L. 66 von Ceylon (Thwaites, no. 1030).

Tafel X.

Euphorbiaceae-Anonaceae.

Fig. 67—68: *Aporosa fruticosa* Muell. Arg. 68 nach Herbarmaterial aus Java, Prov. Banyumas, leg. Koorders, no. 39025. — Fig. 69—72: *Uvaria Lamponga* Scheff. 70 Oberseite eines Blattes aus dem Buitenzorger Garten, no. 193. — Fig. 73—74: *Melodorum manubriatum* (Wall.) Hook. fil. et Thoms. 74 nach Material von den Philippinen, leg. Cuming, Blattoberseite.

Tafel XI.

Anonaceae.

Fig. 75—76: *Uvaria purpurea* Bl. 76 von Trinil (100 m, Elbert, no. 353). Vgl. Taf. XXII, Fig. 7. — Fig. 77—80: *Unona discolor* Vahl (var. typica!). 78 nach einem von Blume auf Java gesammelten Exemplar; 80 nach Material von Borneo, leg. Korthals. Vgl. Taf. XVII, Fig. 8. — Fig. 81—82: *Mitrephora Maingayi* Hook. fil. et Thoms. 82 von Perak, Malaiische Halbinsel (Herb. Hort. Calcutt., no. 6981).

Tafel XII.

Anonaceae-Lauraceae.

Fig. 83—86: *Ellipeia cuneifolia* Hook. fil. et Thoms. 84 keilförmige Blattform, Unterseite, von Perak, Malaiische Halbinsel (Kings Coll., no. 4623); 86 lanzettliche Blattform, Oberseite vom gleichen Fundort, no. 7825. — Fig. 87—89: *Polyalthia lateriflora* King. 89 Blatt von Sumatra (Exp. Gajoe 1904, no. 163). Vgl. Taf. XXI, Fig. 2—3. — Fig. 90—91: *Tetranthera salicifolia* Roxb. 91 Oberseite eines Blattes von Manipur, Ostgrenze von Indien, 1500 m, leg. G. Watt, no. 6188. Siehe auch Taf. XII.

Tafel XIII.

Lauraceae.

Fig. 92—93: *Tetranthera salicifolia* Roxb. 93 Blatt aus dem Botanischen Garten Calcutta. — Fig. 94—96: *Tetranthera alnoides* Miq. Vgl. auch Taf. XIV, Fig. 101—102, sowie Taf. XVI, Fig. 6—13. 95 nach einem von Koorders, no. 3183 in der Provinz Madiun, Java, gesammelten Exemplar. — Fig. 97—98: *Cylicodaphne fusca* Bl. 98 nach einer Pflanze aus Sumatra, leg. Forbes, Blattoberseite (vgl. auch die Textfigur auf S. 21). — Fig. 99—100: *Cylicodaphne cuneata* Bl. 100 Blattoberseite eines Exemplars aus Sumatra (Herb. Waitz).

Tafel XIV.

Lauraceae-Dilleniaceae.

Fig. 101—102: *Tetranthera alnoides* Miq. 102 nach einem Junghuhnschen Exemplar aus Java. — Fig. 103—104: *Dehaasia squarrosa* Miq. et Zoll. 104 Blatt aus dem Buitenzorger Garten. Vgl. Taf. XXII, Fig. 9. — Fig. 105—106: *Cryptocarya ferrea* Bl. var. *oblongifolia* (Bl.) Meisn. 106 nach einem von Hasskarl auf Java gesammelten Zweig. — Fig. 107—110: *Tetracera sarmentosa* (L.) Willd. var. *hebecarpa* (DC.) Hook. fil. et Thoms. 108—109 Blätter von Pangkadjene auf Celebes, leg. Teijsmann.

Tafel XV.

Guttiferae-Dipterocarpeae.

Fig. 111—112: *Garcinia dulcis* Kurz. 112 nach einem Blatt von Timor. — Fig. 113—116: *Garcinia Grahami* Pierre. 115 (Unterseite) und 116 (Oberseite) nach Pflanzen aus dem Buitenzorger Garten (A. Engler, Reise nach Java und Brit.-Indien 1905—06, no. 4220). — Fig. 117—120: *Mesua ferrea* Choisy. 118—119 Blätter von der Oberseite nach Exemplaren vom Malaiischen Archipel, leg. Zollinger, no. 1654. — Fig. 121—122: *Hopea fagifolia* Miq. 122 Blatt aus Java von den Sammlungen der Novara-Expedition.

Tafel XVI.

Dipterocarpeae-Rutaceae.

Fig. 123—126: *Vatica lancaefolia* Bl. 124 Blattoberseite einer Pflanze von dem Chittagong-Gebirgszug, Ostindien (Herb. Hort. Calcutt., no. 320). — Fig. 127—132: *Feronia elephantum* Corea. 127 und 128 die fossile Frucht von der Seiten- und Innenansicht; 129 rezente Frucht längs durchgeschnitten, nach Alkoholmaterial aus Buitenzorg (leg. Graf Solms-Laubach); 130—131 ein Stück des Epikarps mit den schizogenen Öllücken der fossilen und 131 der rezenten Frucht, 132 jüngeres Stadium (fünffächeriger Fruchtknoten) von 129, um die ursprünglich pentarche Anordnung der später regellos über das Fruchtfleisch verteilten Samenanlagen in dem synkarpen Gynäceum zu zeigen.

Tafel XVII.

Meliaceae-Papilionaceae.

Fig. 133—134: *Aglaia palembanica* (Miq.) C. DC. 134 Blatt von Borneo, leg. Korthals. — Fig. 135 bis 136: *Aglaia odorata* Lour. 136 Blatt von Hainan, leg. A. Henry, no. 8673. — Fig. 137—138: *Saraca minor* Miq. 138 nach Material aus Siam, Bangkok, leg. Zinnermann, no. 61 (det. Harnes). — Fig. 139—142: *Deguelia (Derris) elliptica* Benth. Dreisamige Hülse und längliches, schmales Fiederchen. Vgl. namentlich Taf. XVIII sowie XXII, Fig. 10. 140 lederartige Hülse mit beiderseits scharfem Rand nach einer von Zollinger, no. 325 auf Java gesammelten Pflanze; 141 Blättchen der Lianen-Strauchform aus Neu-Hannover, leg. Naumann.

Tafel XVIII.

Papilionaceae.

Fig. 143—154: *Deguelia (Derris) elliptica* Benth. Verschiedene Variationen der sehr polymorphen Fiederchen. 144 und 146 aus Java, leg. Zollinger, no. 325; 148, 152 und 154 nach Exemplaren von Warburg, Plopapuanae, no. 20288, Ceram-Land; 150 aus Siam, Bangkok, leg. Schomburgk, no. 142; 152 typische Form eines unteren Fiederchens; 144 Typus eines oberen Blättchens mit schwach keilförmiger Basis. — Fig. 155—156: *Indigofera tinctoria* L. 156 Seitenfiederchen aus Ostindien (Herb. Wight, no. 642).

Tafel XIX.

Papilionaceae-Araliaceae.

Fig. 157—158: *Cassia alata* L. 158 Blattoberseite eines der beiden endständigen Fiederchen aus Ostindien (Herb. Wight, no. 855). Vgl. Taf. XXIV, Fig. 1—4. — Fig. 159—160: *Polyscias pinnata* Forst, 160 ein unteres Blatt (Oberseite) von Nusa, Neumecklenburg (It. Warburg., no. 20452). Vgl. Taf. XVII. Fig. 4—6.

Tafel XX.

Melastomaceae-Loganiaceae.

Fig. 161—163: *Memecylon floribundum* Bl. 162 nach einer von Zollinger (no. 1590) auf Java gesammelten Pflanze. — Fig. 164—166: *Memecylon myrsinoides* Bl. 165 Blatt von Java, leg. Zollinger (no. 187). — Fig. 167—168: *Fagraea litoralis* Bl. 168 Blattoberseite nach einem Exemplar von Engler, Reise nach Java und Brit.-Ind. 1905 - 06, no. 4243, Bot. Garten Buitenzorg.

Tafel XXI.

Loganiaceae-Cyperaceae.

Fig. 170—171: *Fagraea litoralis* Bl. 170 ein unteres Blatt mit rundlicher, ausgerandeter Spitze nach Material von Engler, l. c. — Fig. 172—173: *Willughbya apiculata* Miq. 173 nach einem von de Vriese auf Sumatra gesammelten Exemplar (det. Stapf). — Fig. 174—175: *Viburnum coriaceum* Bl. 175 nach Blättern aus Java von Koorders, no. 1043 (det. Koorders et Valeton); 176 *Viburnum sundaicum* Miq. (Herb. East Ind. Comp., no. 3398). — Fig. 176—179: *Cyperus* spec. Hauptknochenschicht, verkohlt. — Fig. 180: fossiler Kopal aus den Tonbänken über der Hauptknochenschicht.

Tafel XXII.

Flora von Lasem (Originale in Leiden).

Fig. 1—2: *Castanopsis Curtisii* King (vgl. Taf. I, Fig. 1—8); 3—4 *Quercus lamellosa* Hook. f. et Thoms.; 5 *Flueggea obovata* M. Arg. (vgl. Taf. VII, Fig. 51—53); 6 *Mallotus moluccanus* M. Arg. (vgl. Taf. VIII, Fig. 56—57); 7 *Uvaria purpurea* Bl. (vgl. Taf. XI, Fig. 75—76); 8 *Unona discolor* Vahl (vgl. Taf. XI, Fig. 77—80); 9 *Dehaasia squarrosa* Miq. et Zoll. (vgl. Taf. XIV, Fig. 103—104); 10 *Deguelia (Derris) elliptica* Benth. (vgl. Taf. XVIII, Fig. 143—154); 11 *Viburnum coriaceum* Bl. (vgl. Taf. XXI, Fig. 174—175).

Tafel XXIII.

Kieselhölzer von Trinil.

Fig. 1—3: *Polyalthia lateriflora* King, Vergr. 135. 1 Quer-, 2 Radial-, 3 Tangentialschliff; die gerbstoffhaltigen Gefäße, Markstrahlen und metatrachealen Parenchymbänder schwarz. — Fig. 4—6: *Polyscias pinnata* Forst., Vergr. 135. 1 Quer-, 2 Radial-, 3 Tangentialschliff.

Tafel XXIV.

Fossile Hölzer von Trinil.

Fig. 1—2 cf. *Hyphomycetes* spec., Pilzmyzel, parasitisch in den Gefäßen eines in Holzopal umgewandelten Stammstückes von *Cassia alata* L. 1 in den drei unteren Gefäßen (namentlich dem untersten rechts) des Querschliffes wucherndes Pilzmyzel, Vergr. 135; 2 mit Hyphen angefülltes Gefäß auf dem radialen Längsschliff; an den Hyphen gemmenartige Anschwellungen, Vergr. 555. — Fig. 1—4: *Cassia alata* L., 1 Quer-, 2 Radial-, 4 Tangentialschliff, 2 Mikrophotographie eines Kollodiumabdruckes, Vergr. 135. — Fig. 5—6: *Reevesia Wallichii* R. Br., 5 Querschliff mit Drucksuturen, 6 Tangentialschliff.

Tafel XXV.

Kieselhölzer und Andesit von Trinil.

Fig. 1—2: *Cordia* aff. *suaveolens* Bl., quer. — Fig. 3—4: *Ficus callosa* Willd. 4 Querschnitt eines rezenten Stammes aus Java mit den gerbstoffhaltigen Markzellen, letztere bei dem Fossil Fig. 3 nur dunkel getönt; 5 Querschliff, von der Peripherie des Stammes entnommen. — Fig. 6. Das die organischen Reste umschließende Gesteinsmaterial: *Augit-Andesittuff* mit grüner und brauner Hornblende, Orthoklas und Lapilli, in der Mitte stark zersetztes Holz (von *Ficus callosa*) enthaltend.

Tafel XXVI.

Kieselholz- und Kohlenreste von Trinil.

Fig. 1—5: *Castanopsis Curtisii* King. Vgl. Taf. I, Fig. 1—8. 1 verkohlter Fruchtstand mit anhaftenden Fetzen der Cupula; 2 aufgehellter Längsschnitt (nicht ganz median) durch eine Samenanlage, die Integumente über der Nucellusspitze haubenförmig geschlossen, d. h. das äußere Integument liegt dem inneren so dicht an, daß beide wie miteinander verwachsen erscheinen, Vergr. 47; 3 untere Partie des vorigen Präparates, Vergr. 135; 4 mittlerer Teil von Fig. 2, Nucellusgewebe und das dicht verschlossene äußere Integument, Vergr. 135; 5 ein Schnitt aus der innersten Partie der Karpellwand mit Steinzelleninseln, Vergr. 135. — Fig. 6—13: *Tetranthera alnoides* Miq. Vgl. Taf. XIII, Fig. 94—96 und Taf. XIV, Fig. 101—102. 6 Proben von Triniler Holzkohlen, wenig verkleinert; die beiden Stücke links gehörten ursprünglich zusammen; 7 knochenartig geformte Holzkohle; 8 Querschnitt durch ein rezentes Stammstück von Tetranthera alnoides aus Java, Vergr. 43; 9 aus dem radialen Längsschliff einer Holzkohle mit den gehöften, polygonalen Gefäßporen und einer aus Hüllzellen, Kantenzellen und Mittelzellen bestehenden Markstrahlpartie, Vergr. 135; 10 ein Teil des Holzes mit der Markkrone im Längsschnitt (von der Holzkohle), Vergr. 43; 11 ein Teil der Markkrone aus dem vorigen Präparat, Vergr. 135; 12 ein Teil von Fig. 10 mit den leiterförmigen Gefäßperforationen, Vergr. 200; 13 Mark und Holz (mit den Gefäßperforationen) rezent. — Fig. 14: *Ficus callosa* Willd. Tangentialschliff durch das verkieselte Holz, vgl. Taf. XXV, Fig. 3—4.

Tafel XXVII.

Situation von Trinil.

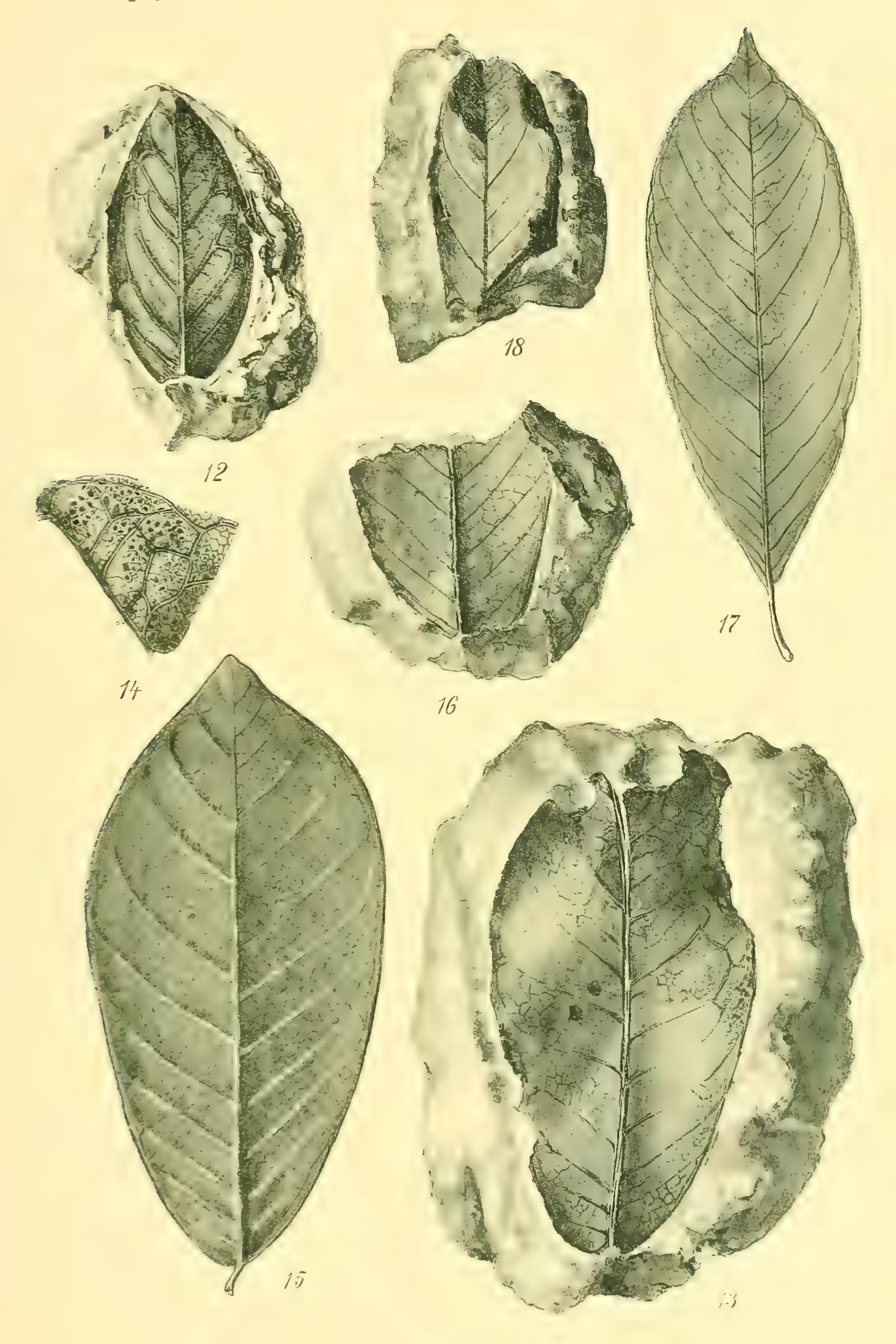
Fig. 1: Übersichtskärtchen der Umgebung von Trinil. — Fig. 2: Künstlicher Aufschluß am Solo-Fluß (unterhalb der Mitte rechts — in den helleren Lagen — die Blätterschicht). — Fig. 3: Profil A der Grube I am rechten Ufer des Solo-Flusses südwestlich von Trinil. — Nach den Aufnahmen der Selenka-Expedition.

Inhalts-Übersicht.



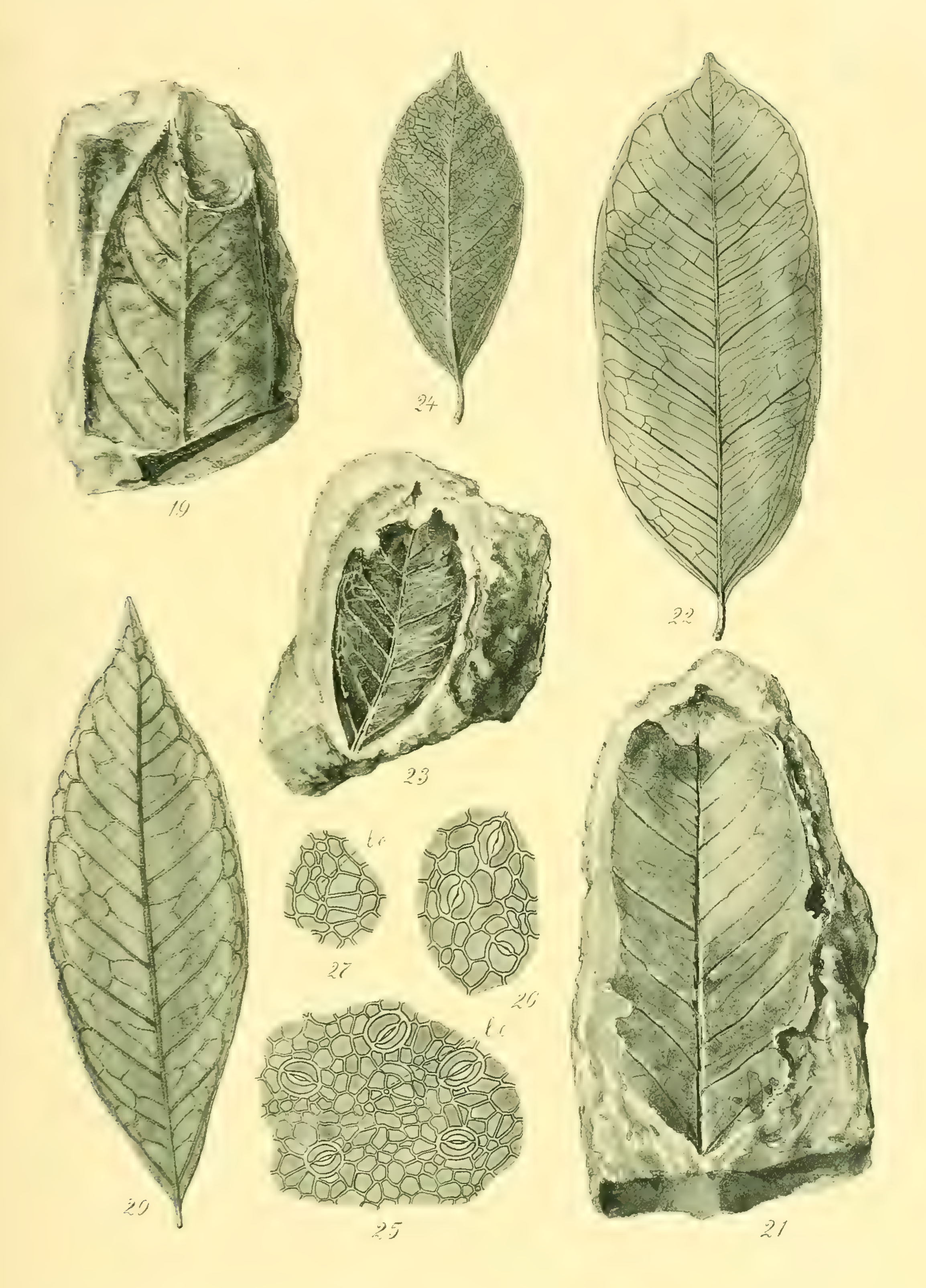
Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München





Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.





Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.





Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.





Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.





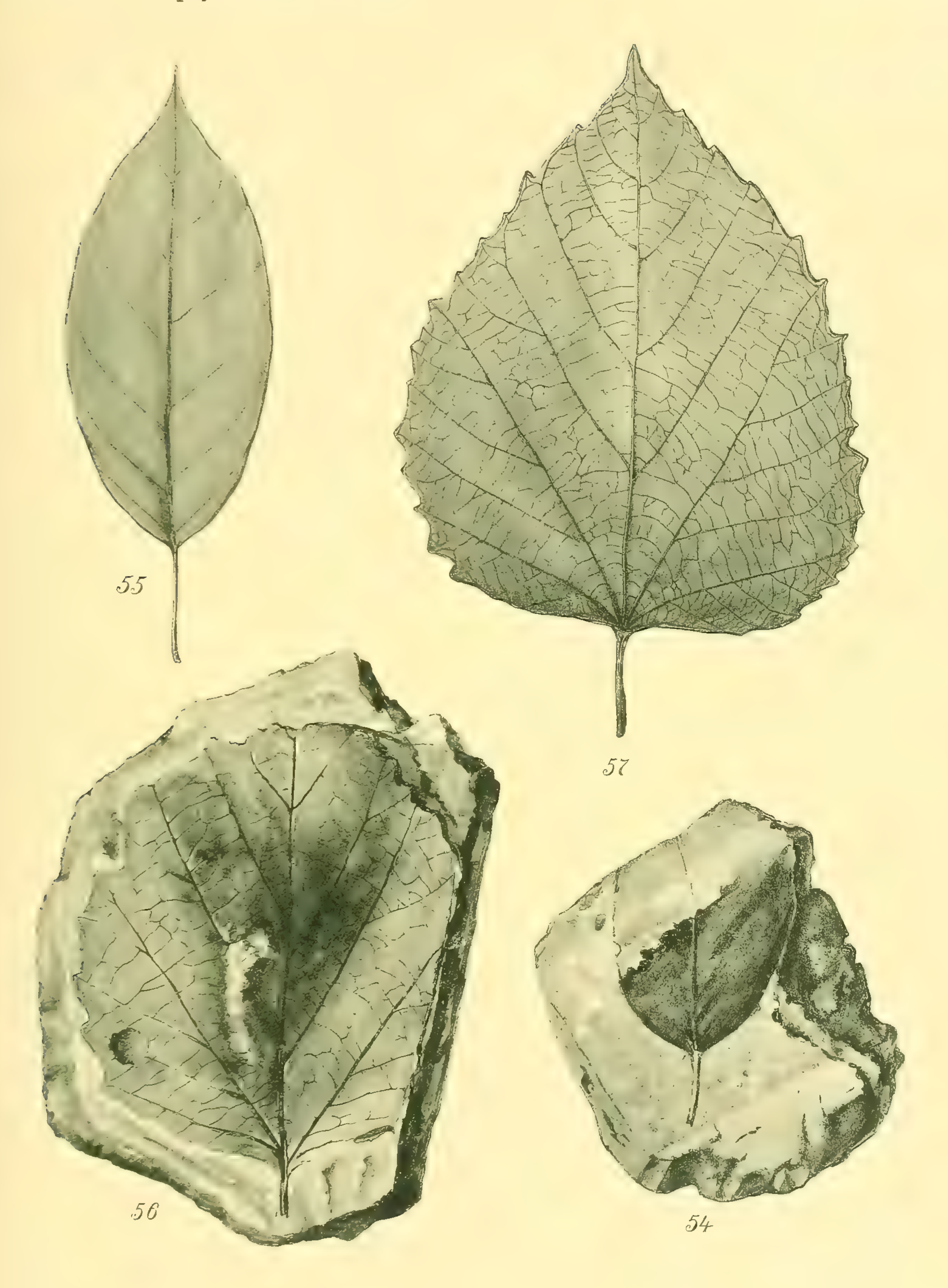
Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.





Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.





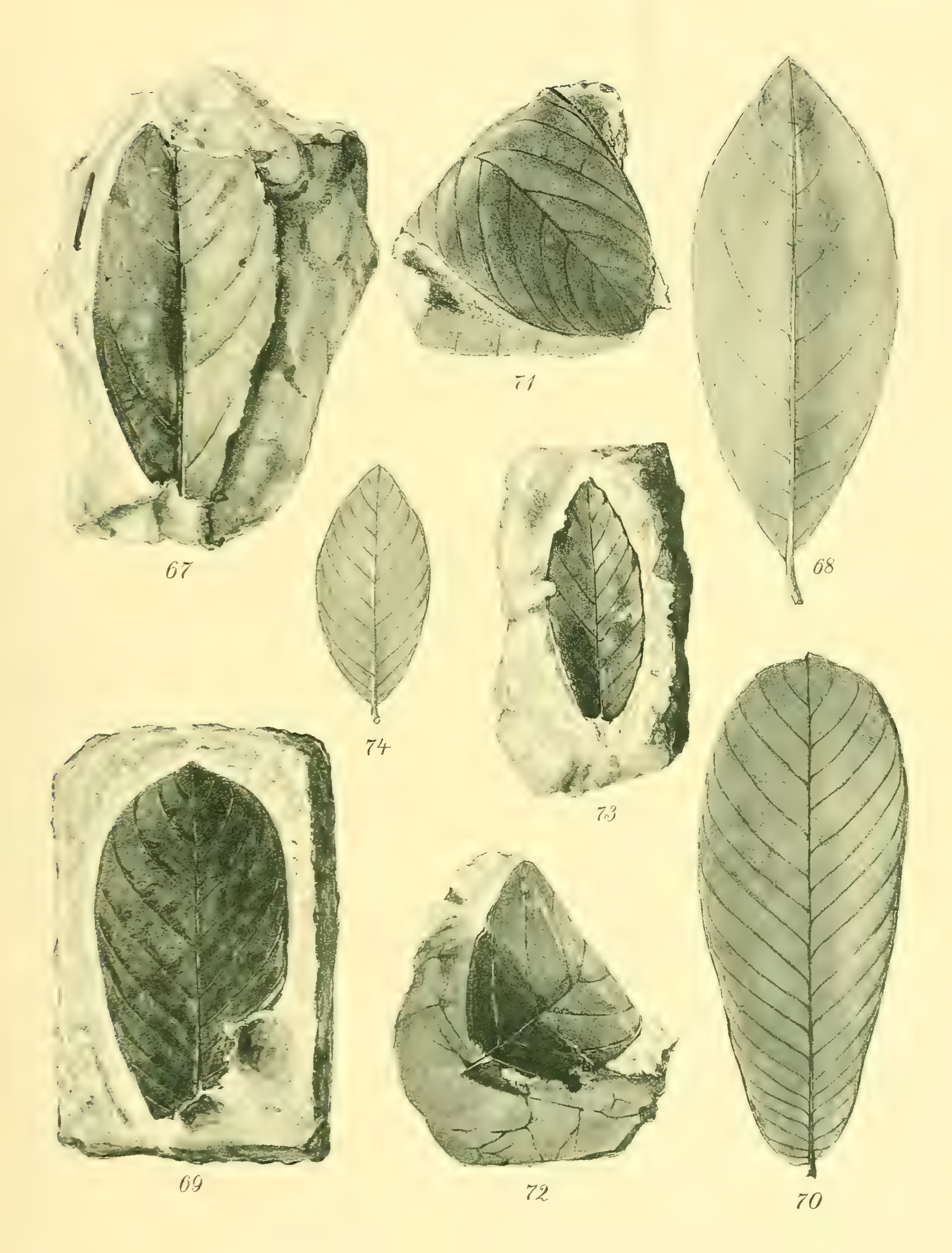
Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.





Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.





Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.





Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.





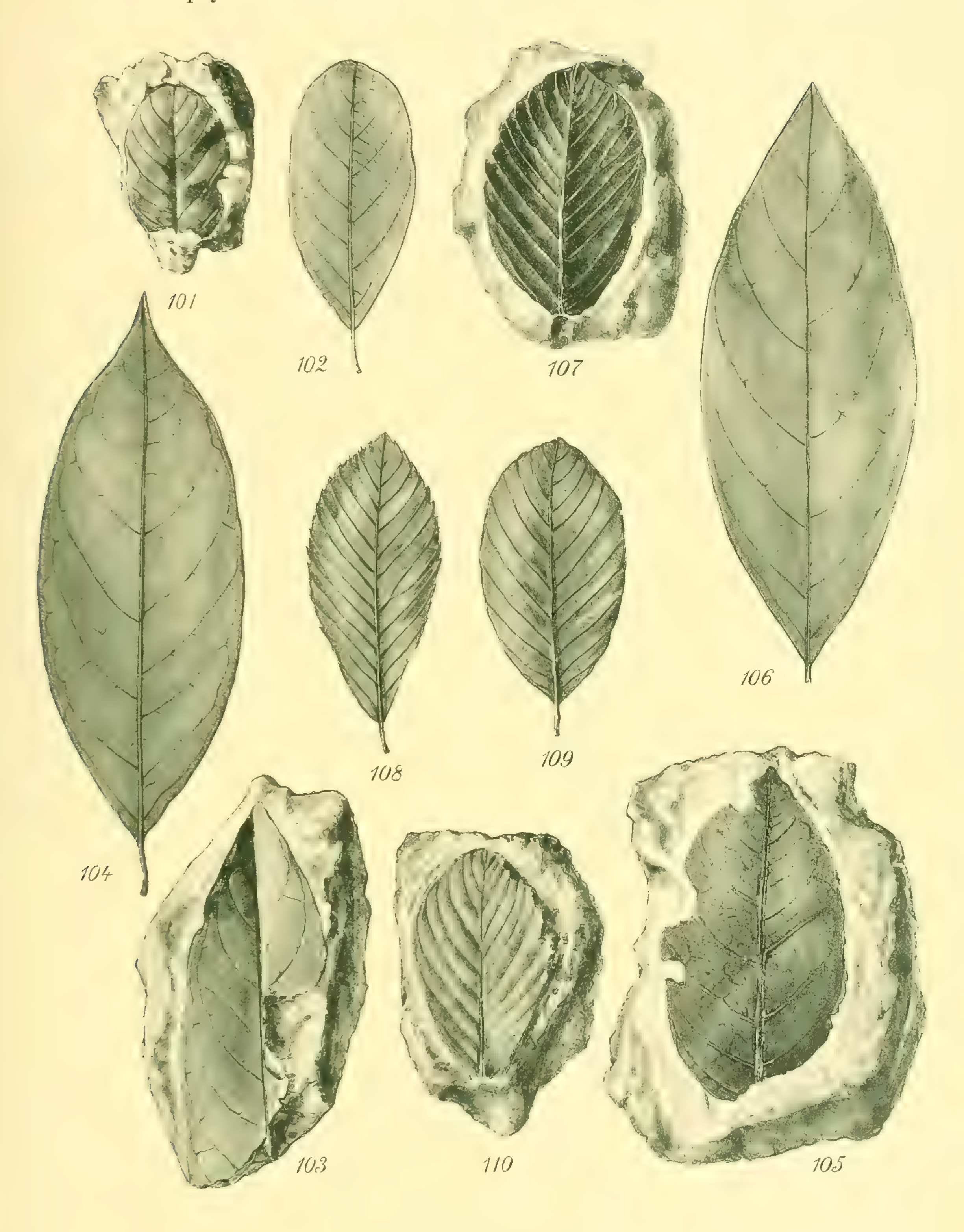
Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.





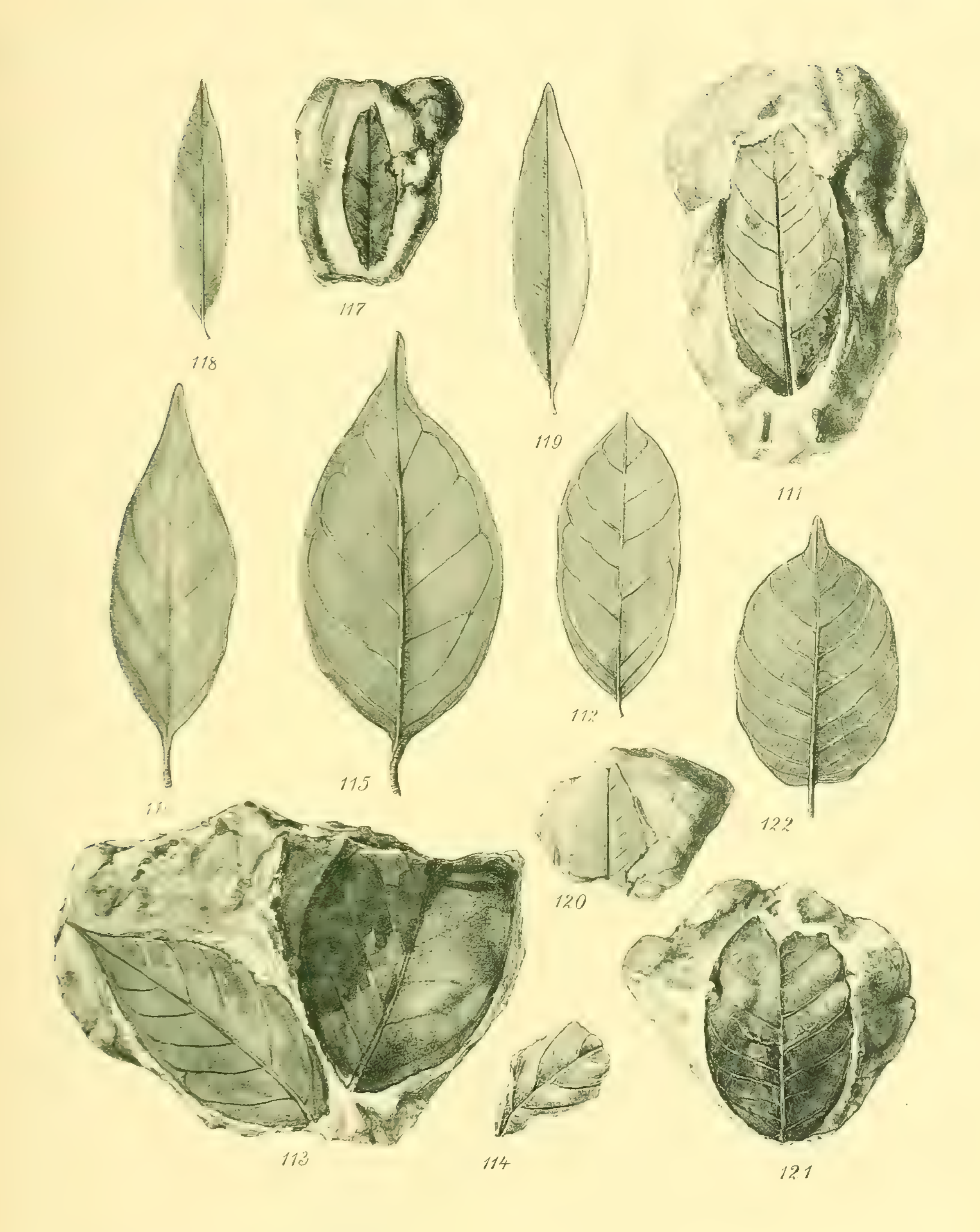
Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.





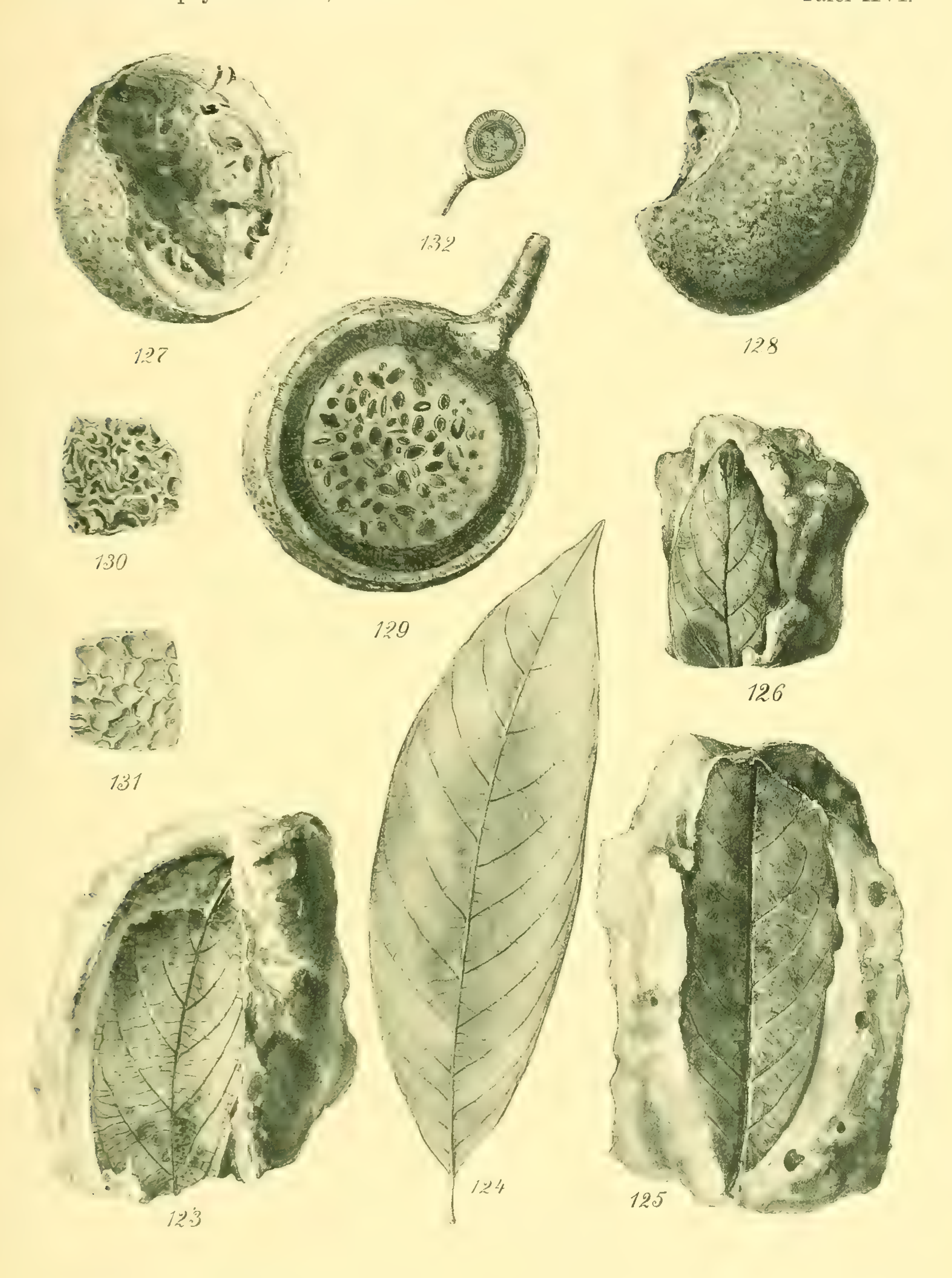
Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.





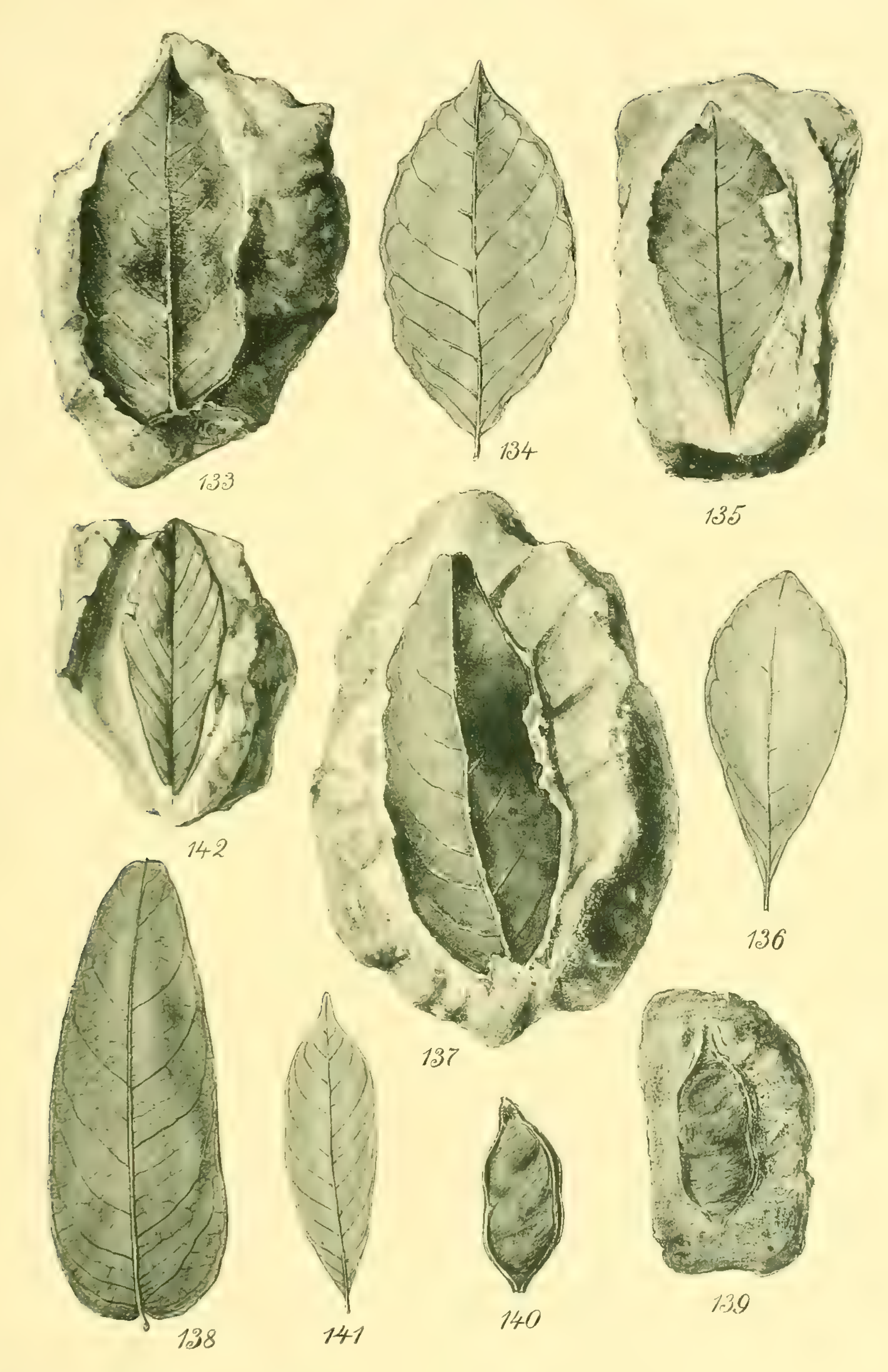
Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.





Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.





Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.





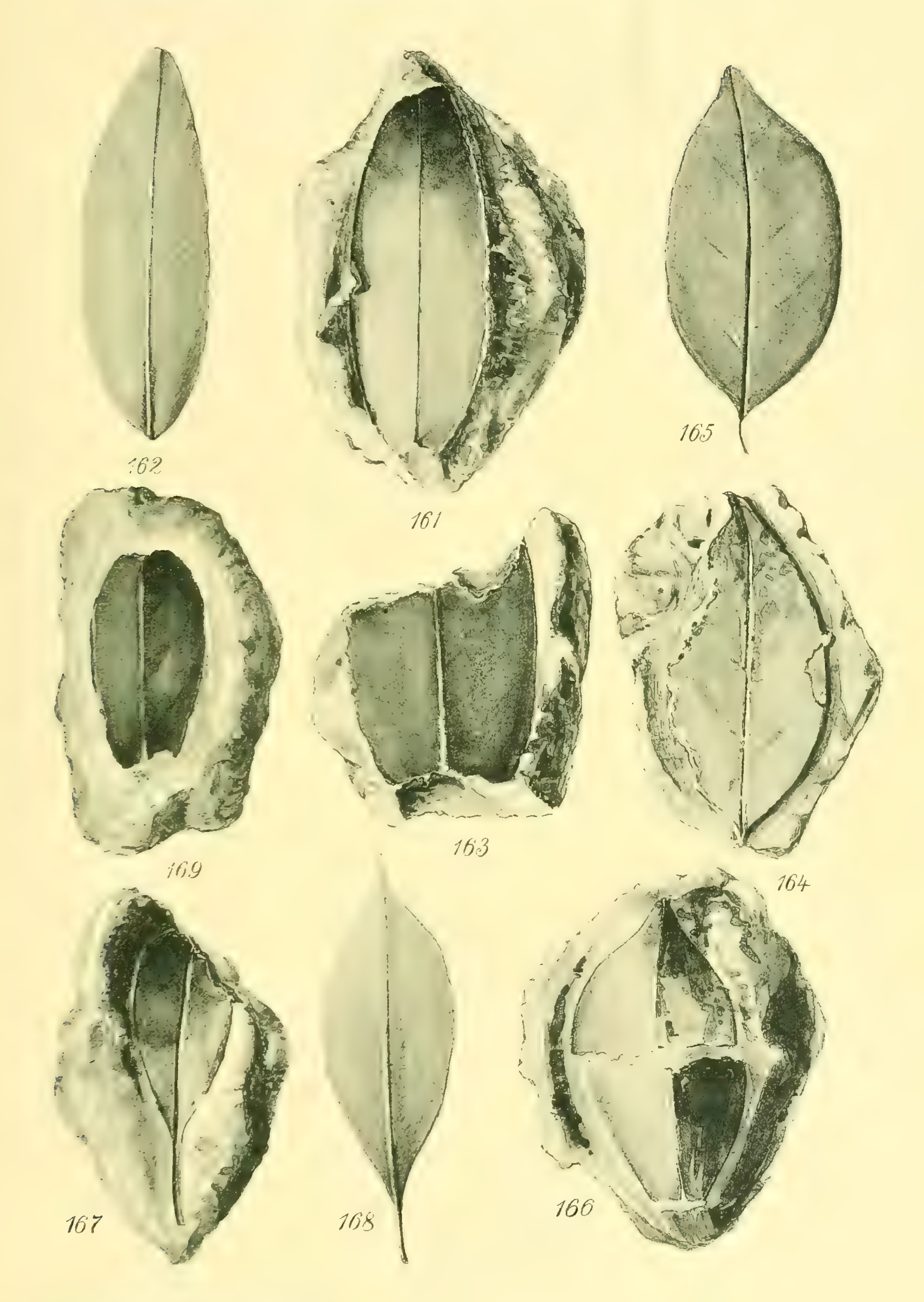
Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.





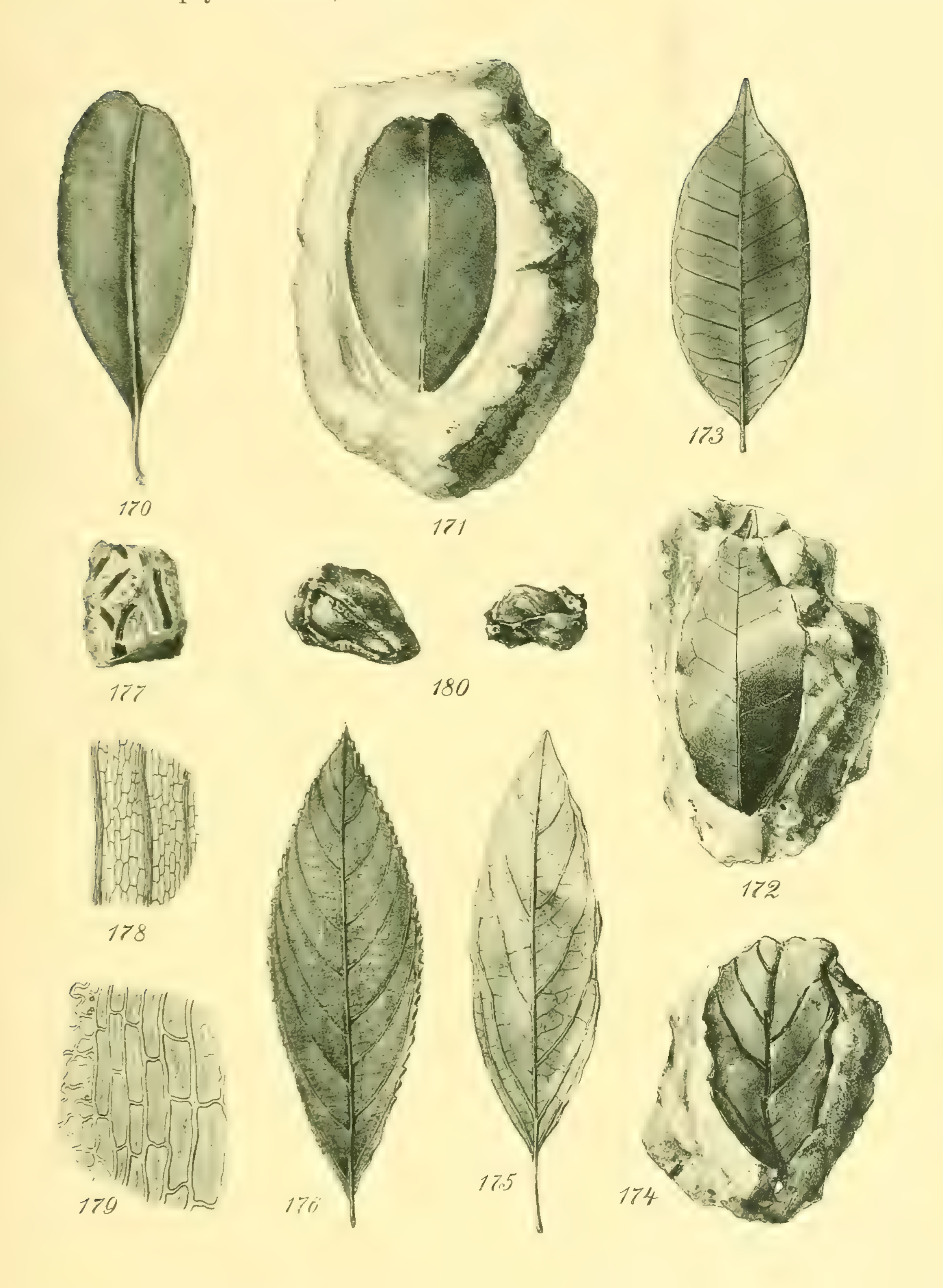
Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.





Lichtdruck von F. Bruckmann A. G., München.





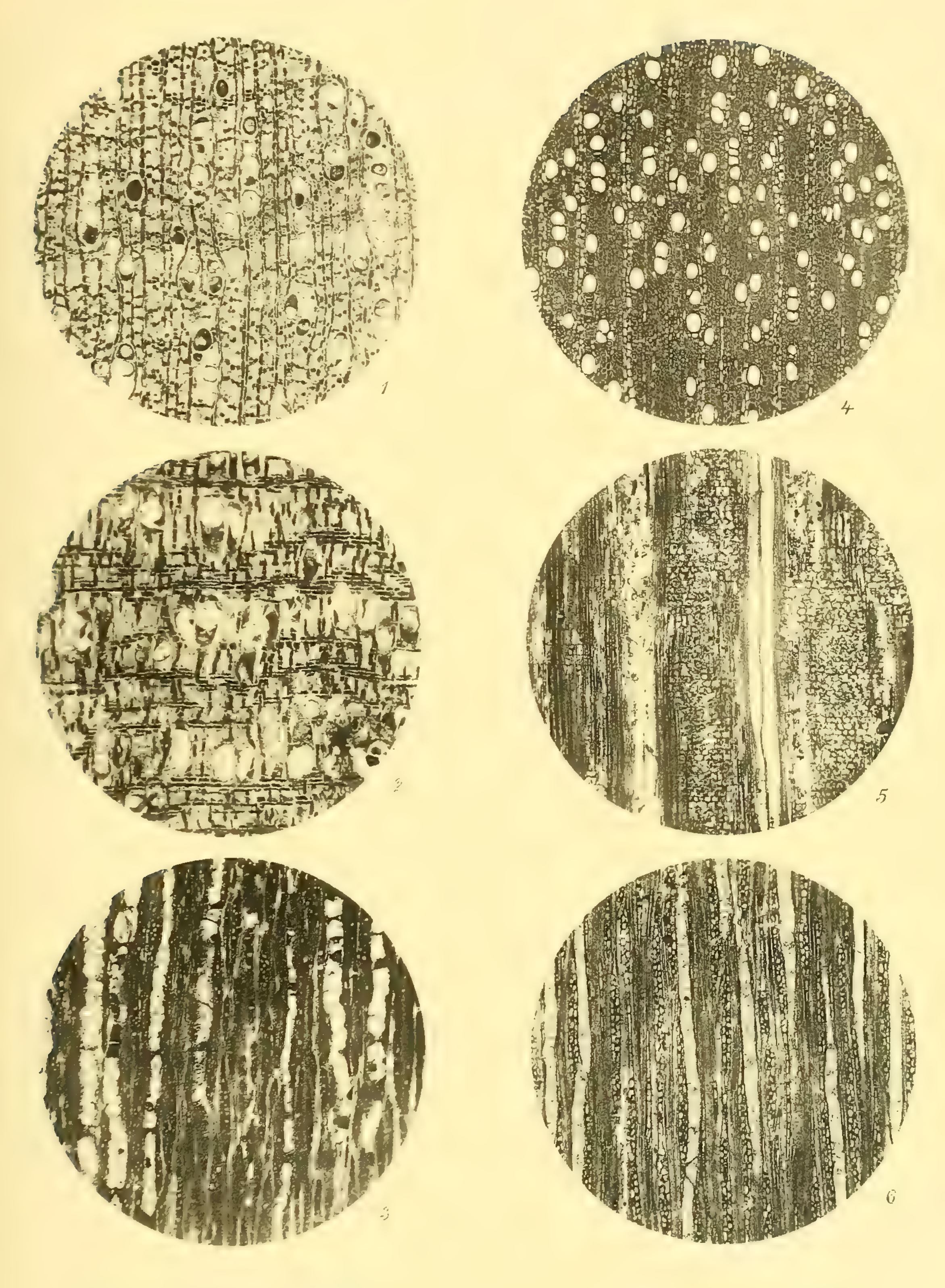
Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München





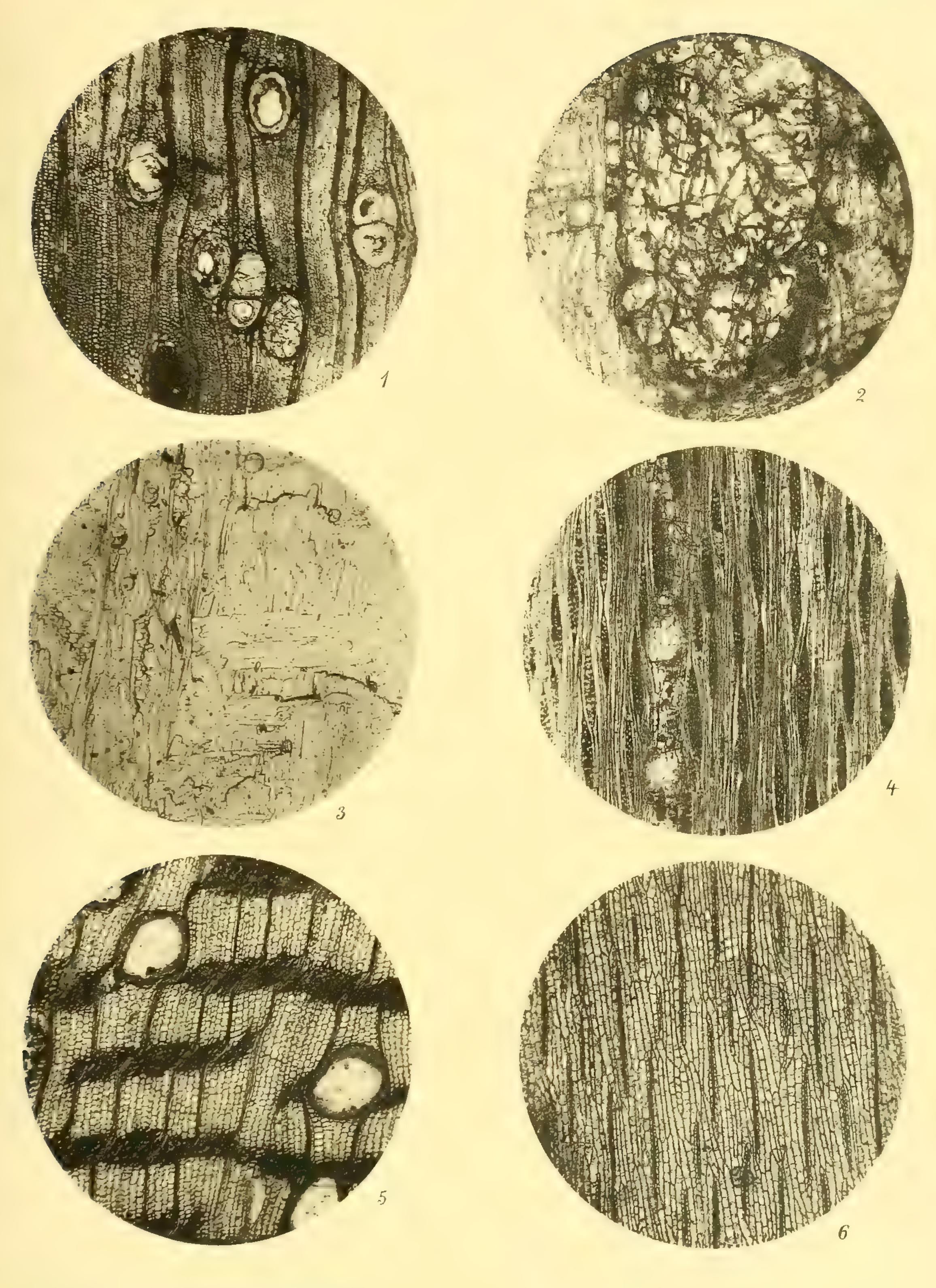
Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.





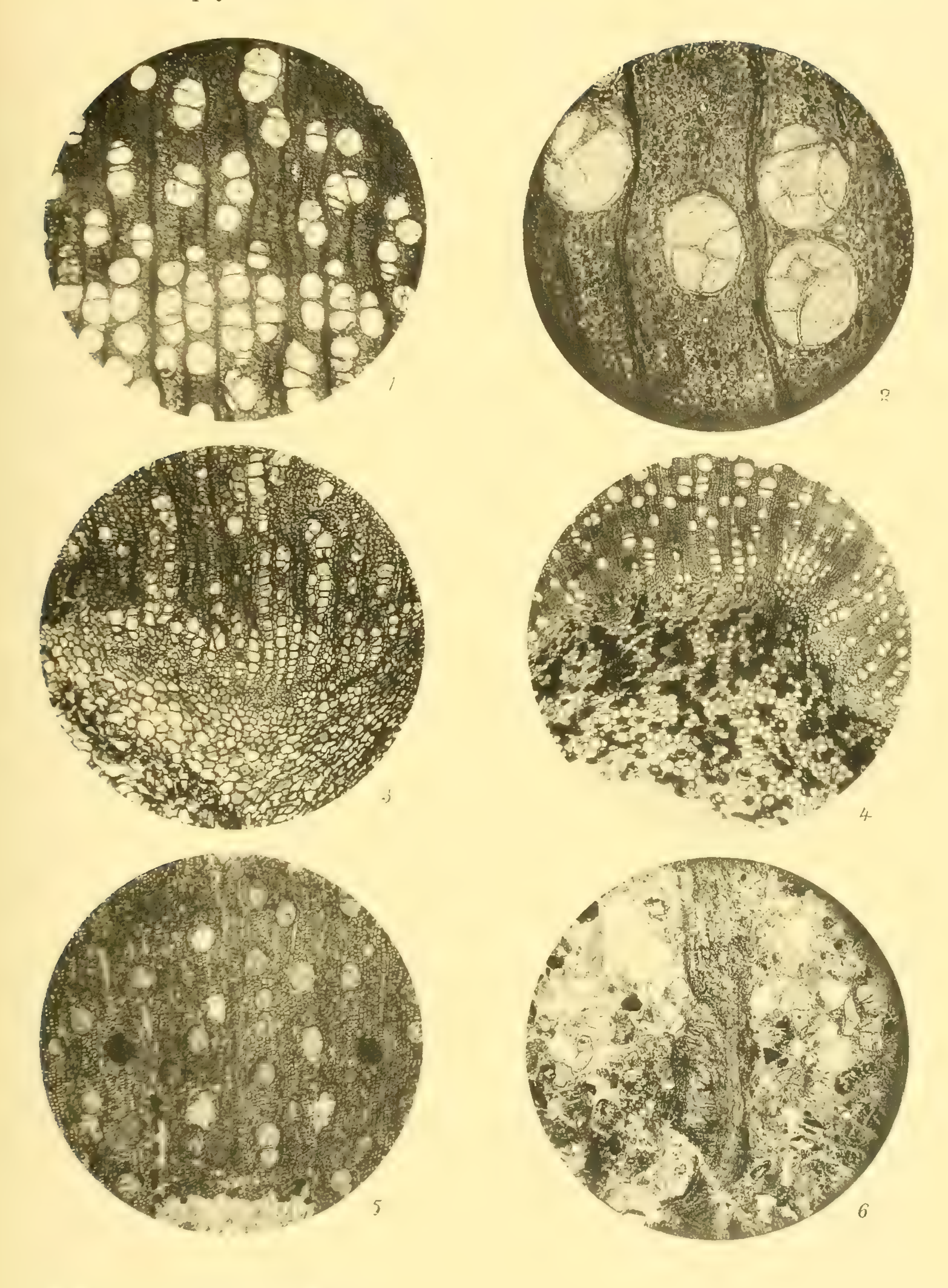
Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.





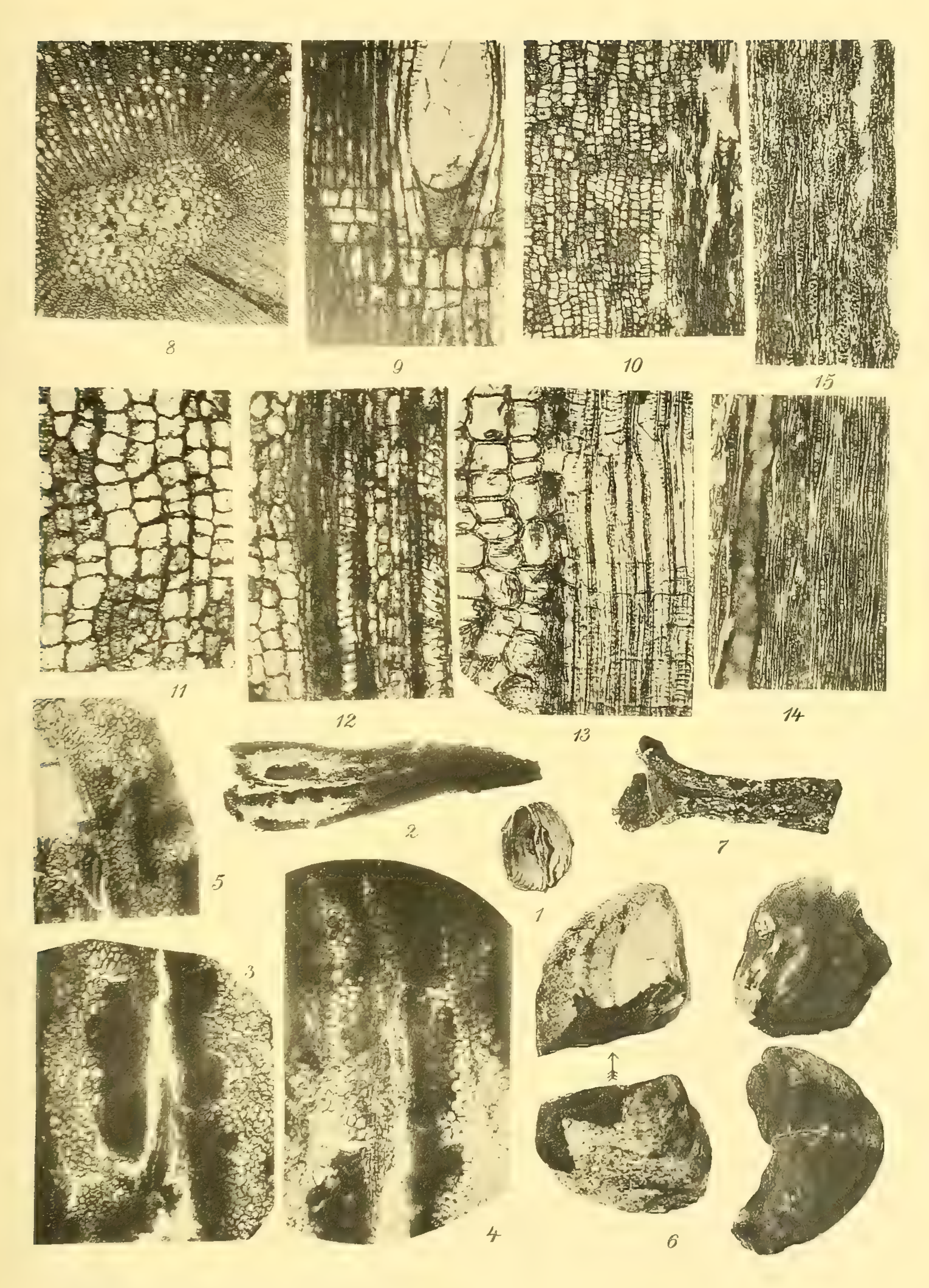
Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.





Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.





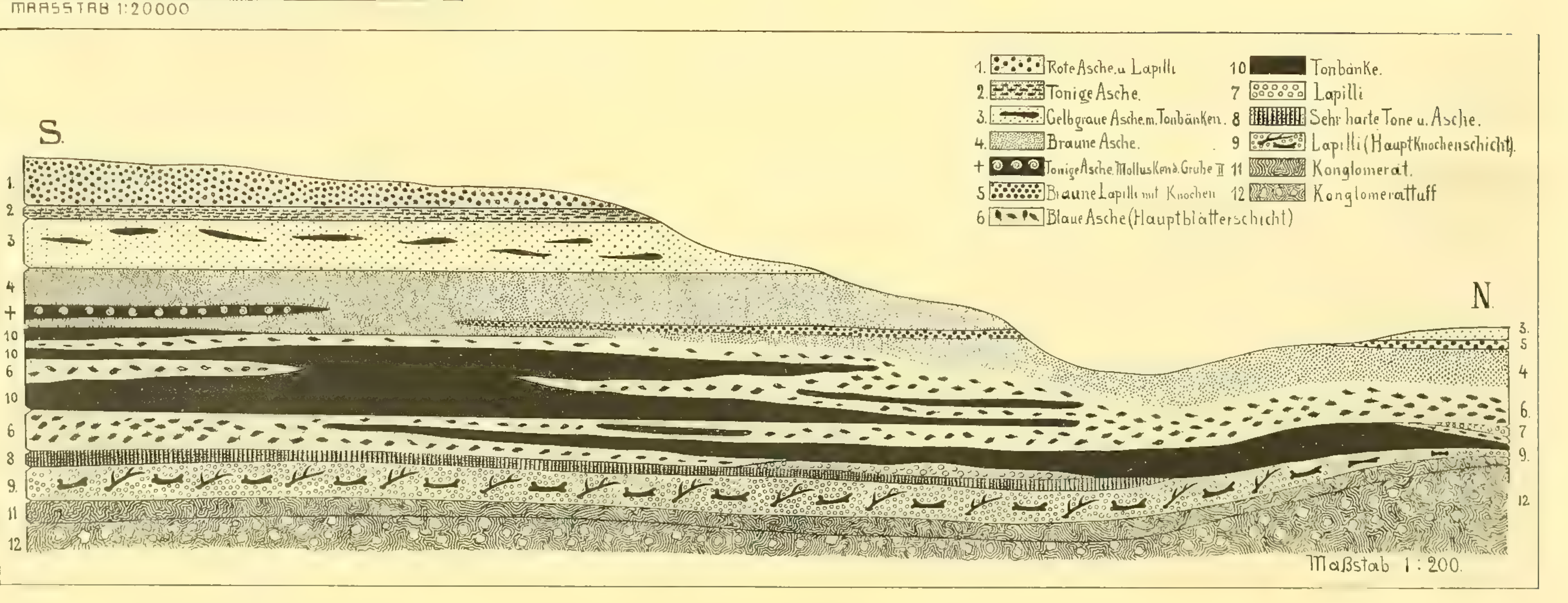
Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.



NORD
Solo
PENGKOL
PADAS MALANG
GRENZE DER MARINEN SEDIMENTE
WATOE GADJA
TRINIL GRUBE I
GRINJSING
PILANG
BURUNG
BLANKOL
DENGGRIK
SÜD
MAASSTAB 1:20000

1

2



3

Lichtdruck von F. Bruckmann A.-G., München.



Abhandlungen
der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
XXV. Band, 7. Abhandlung

Spitzbergens Landformen
und ihre Vereisung

von

Erich von Drygalski

München 1911
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



Vorwort.

Die nachstehende Arbeit enthält die Ergebnisse der Landuntersuchungen, die ich auf der Zeppelin-Studienfahrt nach Spitzbergen und ins Nördliche Eismeer im Sommer 1910 anstellen konnte, während eine zweite Arbeit mit den Ergebnissen der auf dieser Fahrt ausgeführten Meeresuntersuchungen folgen soll. Den Zweck und den äußeren Verlauf der Reise will ich hier nur kurz berühren. Sie stand unter der Leitung S. K. H. des Prinzen Heinrich von Preußen und hatte die Aufgabe, festzustellen, ob und wie eine Zeppelin-Luftschiff-Expedition zur Erforschung des Nordpolargebietes durchführbar ist. Der Norddeutsche Lloyd hatte in seinem Doppelschraubendampfer „Mainz“ ein dazu besonders vorbereitetes, vortreffliches Expeditionsschiff gestellt; es wurde von Herrn Kapitän M. Dietrich geführt. Ein norwegisches Fangschiff „Fönix“, von Herrn Svendsen geführt, begleitete die „Mainz“ von Tromsö an und kam immer zur Verwendung, wo Eisfahrten oder Eisuntersuchungen notwendig waren, welche die „Mainz“ ihres Baues wegen naturgemäß nicht ausführen durfte. Außerdem stand die Kieler Stationsjacht „Carmen“ unter dem Befehl des Oberleutnants z. S. Herrn von Bartenwerffer zur Verfügung, um der Expedition Post und andere Nachrichten von Norwegen nach Spitzbergen zu vermitteln.

Die Reise erfolgte in den Monaten Juli und August, also in den für Fahrten im Nördlichen Polarmeer günstigsten Monaten. Gelandet wurde schon an einigen Punkten der norwegischen Küste, auf Bären-Eiland und an zahlreichen Punkten der West- und Nordküste Spitzbergens, vom Eisfjord im Westen an bis zur Roten Bai im Norden. Außerdem wurde während der Fahrt an verschiedenen Punkten auf dem Meer zur Vornahme wissenschaftlicher Untersuchungen länger gehalten.

Über die Luftschiffstudien der Expedition sind von berufener Seite an anderer Stelle (Mit Zeppelin nach Spitzbergen, Deutsches Verlagshaus Bong & Komp., 1911) bereits vorläufige Berichte gegeben worden und weitere bei geeigneter

Gelegenheit zu erwarten. Es war die Meinung wohl aller Teilnehmer der Fahrt, daß eine arktische Zeppelin-Luftschiff-Expedition möglich sein wird, wenn das Luftschiff und seine Motoren dafür hinreichend entwickelt sein werden, ferner auch, daß die jetzige Studienfahrt für den Fall der Ausführung jenes Planes eine ganze Reihe von Grundlagen, z. B. für die Verankerung von Luftschiffen im Eise — dieses mit überraschendem Erfolge — und für anderes, gelegt hat. So hat die Studienfahrt ihren Hauptzweck erfüllt.

Außerdem sollte die jetzige Fahrt auch verschiedene wissenschaftliche Untersuchungen vornehmen, wo sich dafür Gelegenheit bot. So gingen H. Hergesell und F. Leiber Studien der Atmosphäre, A. Miethe und B. Seegert photographischen Untersuchungen, Graf Otto von Zedlitz und Trützschler zoologischen, M. Reich und ich selbst geographischen und geologischen Studien nach. Die zahlreichen Aufenthalte an Land und auf dem Meer haben dafür treffliche Gelegenheit geboten, und wenn eine solche an sich nicht vorlag, dann wurde sie geschaffen. Es ist mir ein Bedürfnis, dem Leiter der Expedition, S. K. H. Prinz Heinrich von Preußen, auch an dieser Stelle herzlichst dafür zu danken, daß er jeden diesbezüglichen Wunsch bereitwilligst gewährte und durchführen half, durch Dispositionen über die Fahrt und durch eigene Mitwirkung.

Ebenso danke ich den Mitgliedern der Expedition für ihre vielfache Hilfe bei meinen Arbeiten, den obengenannten Herren, ferner S. Exzellenz Herrn F. Graf von Zeppelin, der meinen Wegen und Studien häufig freundlich gefolgt ist, und den Herren Kapitänleutnants Hilmers und von dem Knesebeck, an die ich mich oft und nie vergeblich gewandt habe. Ganz besonders danke ich dem Arzt der Expedition, Herrn Professor Dr. M. Reich, der alle Wege und Arbeiten dieser Zeit mit mir geteilt hat und seine wissenschaftlichen Interessen mit den meinigen zu gemeinsamer Förderung verband. Herzlichen Dank sage ich auch Herrn Kapitän M. Dietrich und den Offizieren des Norddeutschen Lloyd für ihre Hilfe bei den Meeresuntersuchungen, Arbeiten, bei denen die Leitung und Besatzung des Schiffes ja immer bestimmend mitwirken müssen und hier ebenso bereitwillig wie sicher mitgewirkt haben. Die photographischen Abbildungen, welche dieser Arbeit beigegeben sind, verdanke ich der Güte der Herren Miethe, Leiber und Reich.

München, den 6. Mai 1911.

Erich von Drygalski.

I. Die Umrisse der Inselgruppe.

Die Inselgruppe Spitzbergen besteht aus fünf größeren und vielen kleineren Inseln.[1]) Von den ersteren sind Westspitzbergen und das Nordostland die bedeutendsten. Sie werden heute durch die Hinlopenstraße voneinander getrennt, gehören jedoch eng zusammen, etwa wie die Seiten eines Fjordes oder Tals, und haben dann die Form eines Keils, dessen breite Basis am 80⁰ n. Br. liegt und dessen Spitze — das Südkap, auf einer kleinen Vorinsel Westspitzbergens gelegen — noch etwas über den 76⁰ n. Br. nach Süden herabreicht. Der Keil ist etwas unvollständig, da seine Nordwestecke fehlt. Auch seine Südwestbegrenzung ist mehrfach unterbrochen, die Südostbegrenzung dagegen nur einmal, nämlich durch die Hinlopenstraße. Nahe der Nordostecke schwillt die Basis über den 80⁰ nach Norden hin an.

Der Südostbegrenzung des Keils ist die dritte und vierte und der Südwestbegrenzung die fünfte der größeren Inseln vorgelagert. Jene beiden, Barents-Land und Edge-Isel oder Stans-Vorland, hängen an einer östlichen Anschwellung von Westspitzbergen, unmittelbar südlich von der Hinlopenstraße, und sind durch den Storfjord von Westspitzbergen getrennt, der sich südwärts verbreitert, da die Westseite der beiden Inseln nahezu nordsüdlich, die gegenüberliegende Südostbegrenzung des Hauptlandes dagegen südsüdwestlich verläuft, also von ersterer divergiert. Wichtiger ist, daß die östliche Begrenzung beider Inseln nahezu in der Richtung der Hinlopenstraße, deren Westbegrenzung fortsetzend, und auch

[1]) Eine Karte ist dieser Abhandlung nicht beigegeben worden, weil sie im wesentlichen Bekanntes zu wiederholen hätte. Zur Orientierung bei der Lektüre der Arbeit wird die Darstellung Spitzbergens in einem Handatlas, z. B. in der neuesten Ausgabe von Stielers Handatlas zunächst genügen. Für Einzelheiten wären am besten die britischen Seekarten „Spitzbergen“ Nr. 2751 und „Magdalena Bay to Red Bay“ Nr. 3203 einzusehen, auch die britischen Karten der Ankerplätze an der West- und Nordküste von Spitzbergen Nr. 300 und 3020. Für Nordwest-Spitzbergen zwischen Königs-Bai und Magdalena-Bai geben die Karten des Fürsten von Monaco nach den Aufnahmen der Expeditionen Isachsens 1906 und 1907 die beste Darstellung, nämlich „Campagnes scientifiques, Histoire des voyages“, Carte IX, X und vor allem Carte VIII, letztere in zwei Blatt, aber meines Wissens nicht im Handel erschienen. Diese letztere Karte ist farbig und gibt ein außerordentlich schönes und treffendes Bild des Landes. Die Karten des Fürsten von Monaco enthalten auch die Nomenklatur, die in dieser Arbeit verwandt ist. Geologische Karten sind in den eingangs des zweiten Abschnitts p. 6 f. zitierten Arbeiten enthalten, besonders in der von Nathorst.

parallel zur Südwestbegrenzung Westspitzbergens, nämlich südöstlich streicht, da diese Richtung sich im Bau der Inselgruppe häufig wiederholt. Auch die fünfte größere Insel, Prinz Karl-Vorland, etwa vor der Mitte Westspitzbergens gelegen, hat diese südöstliche Richtung und ist nach Lage und Form nur ein Teil der Westseite Westspitzbergens; sie ist heute durch eine Meeresstraße, den Vorland-Sund, von dieser Hauptinsel getrennt, doch südostwärts in deren Küstengebirge südlich vom Bellsund und nordwestlich durch eine unterseeische Schwelle fortgesetzt, welche die Mainz-Expedition durch Lotungen feststellen konnte. Dieselbe zieht dorthin, wo die fehlende Nordwestecke des Keils liegen würde. Diese scheint darnach in Staffelbrüchen abgesunken zu sein, wobei die erwähnte Schwelle weniger einsank als die Streifen daneben.

Bei der Wichtigkeit dieser südöstlichen Linien im Bau des Landes könnte man die Inselgruppe nach ihnen gliedern. Diese wäre dann als der Rest einer Tafel aufzufassen, die durch NW—SO bis NNW—SSO streichende Bruchlinien zerschnitten und in Streifen zerlegt ist. Einzelne Streifen sind zur Tiefe gesunken und vom Meer überflutet, andere stehen geblieben. Die erwähnte Schwelle, der Vorland-Sund, die Rote Bai, die Wijde Bai, die Hinlopenstraße sind überflutete Streifen, die Gebiete dazwischen erhaltene. Barents-Land und Stans-Vorland sind die südliche Fortsetzung des Streifens der Hauptinsel, der zwischen Wijde Bai und Hinlopenstraße liegt und die als König Karl-Land zusammengefaßten Inseln sind die südliche Fortsetzung des Nordostland-Streifens. Kleinere Inseln setzen diese größeren noch weiter südöstlich fort und die Bären-Insel in gleicher Weise den Gebirgsstreifen, welcher die Westseite von Westspitzbergen begleitet. Die Streifen der Hauptinseln haben sich also früher weiter südöstlich gegen Skandinavien hin erstreckt. Sie sind dann von Quer- und Diagonalbrüchen abgeschnitten, an denen die Südostseiten bis auf die genannten Inseln unter das Meer sanken. Die Umrisse der Inselgruppe sind mithin durch Brüche bestimmt, die südöstlich ziehen und die Streifen begrenzen, sowie durch andere, die jene kreuzen.

II. Der Bau Spitzbergens.

Die obige Auffassung der Inselgruppe, die man aus ihren Umrissen ableiten kann, findet ihre Stütze in dem geologischen Bau, wie er namentlich durch schwedische und neuerdings norwegische Forscher bekannt geworden ist.[1]) Denn

[1]) Für die Ausführungen dieses Abschnitts sind folgende geologische Arbeiten benutzt worden: A. G. Nathorst, Beiträge zur Geologie der Bären-Insel, Spitzbergens und des König Karl-Landes. Bull. of the Geol. Inst. of Upsala, Vol. X. Mit Karte. G. de Geer, A geological excursion to Central Spitzbergen, in Guide de l'excursion au Spitzberg, XIe Congrès géologique international. Stockholm 1910. Mit geo-

die Tektonik ist von Falten und Brüchen beherrscht, die annähernd in der Richtung der Westbegrenzung des Keils, also etwa von NNW nach SSO verlaufen.

Archaisches Grundgebirge findet sich in der Nordwestecke von Westspitzbergen um die Magdalena-Bai und östlich von der Wijdebailinie. Es ist vielfach Granit und somit ohne erkennbares Faltenstreichen, doch folgen seine Grenzlinien an der Roten und an der Wijde Bai der herrschenden südöstlichen Richtung.

Bei der nächstjüngeren, meist silurischen, sogenannten Hekla Hook-Formation, die aus grauen Dolomiten, Glimmerschiefern, oft mit Granaten, und aus Quarziten besteht, ist die Südostrichtung auch im Faltenstreichen erkennbar. Diese Formation bildet ein Gebirge, das fast den ganzen Streifen der Westküste von Westspitzbergen einnimmt, ausschließlich des Nordwestens, doch einschließlich des Prinz Karl-Vorlands. Hornsund, Bellsund, Eisfjord, Königs-Bai schneiden von Westen her durch ihn hindurch. Seine südliche Fortsetzung liegt auf Bäreneiland, wo Nathorst darin auch Versteinerungen gefunden hat, was in Spitzbergen bisher nicht der Fall war, die ein untersilurisches Alter der Formation bestimmen ließen. Im Norden endet der Hekla Hook-Streifen nördlich vom Eingang der Königs-Bai an der Küste bei dem ersten der sogenannten sieben Gletscher. Weiter nördlich liegt an der Küste Gneis und Granit. Der Hekla Hook-Streifen ist in Falten gelegt, die parallel zur Küste, also SSO—NNW streichen. In ihnen liegen die spitzen, zerrissenen und zerklüfteten Formen, welche der Insel den Namen gegeben und für alle Einzelheiten der Westküste, auch für ihre Vergletscherung, von Bedeutung sind.

Mit diesem alten, untersilurischen Gebirge war der Faltenwurf auf der Inselgruppe nicht ganz, doch in den Hauptzügen beschlossen. Von nun an bestimmten wesentlich Brüche die Umrisse und den Bau des Landes und zwar schon in den auf die Hekla Hook-Formation folgenden devonischen Bildungen, die hauptsächlich aus rotem und grünem Sandstein und aus roten

logischer Karte des Eisfjordgebiets, einer geologischen Kartenskizze von Westspitzbergen, sowie mit Gletscherkarten und Bildern. G. de Geer, Some leading lines of dislocation in Spitzbergen. Geol. Fören. Förhandl., Stockholm, Bd. 31, 1909. Mit geologischer Kartenskizze von Westspitzbergen. G. de Geer, Die Gletscher von Spitzbergen. VII. Intern. Geogr. Kongreß. Berlin 1899. G. de Geer, Om östra Spetsbergens glaciation under istiden. Geol. Fören. Förhandl., Bd. 22, 1900. Mit Kartenskizze. A. Hoel, Geologiske Jagttagelser paa Spitzbergens Expeditionerne 1906 und 1907. Norsk. Geol. Tidsk., Bd. I, 1909, Kristiania. Auf die Diskussionen über den Bau des Landes, namentlich zwischen Nathorst und de Geer, ist hier im einzelnen nicht Bezug genommen worden, weil es mir nur darauf ankam, die allgemeinen Züge des Baues zu entwickeln, soweit sie für die folgenden morphologischen Betrachtungen grundlegend sind. Außer den genannten Arbeiten wurden auch ältere, z. B. von A. E. Nordenskjöld, eingesehen, doch sind dieselben auch schon in den obigen verwertet und nach Bedarf verändert worden, so daß sich eine besondere Bezugnahme auf die älteren erübrigt.

Konglomeraten bestehen. Spärliche Fisch- und Ostrakodenreste und schlecht erhaltene Pflanzen sind darin gefunden. Die Mächtigkeit dieser devonischen Bildungen wird auf etwa 1500 m geschätzt.

Dieses Devon wird hier wohl meist als eine Meeresbildung aufgefaßt, die in horizontalen Schichten dort zur Ablagerung kam, wo das Land zeitweilig unter den Meeresspiegel herabgesunken war. Später ist es mit den devonischen Neubildungen darauf wieder emporgestiegen, doch ungleich, in dem einen Streifen mehr, im anderen weniger. Von den höheren wurde das Devon durch die Wirksamkeit der Atmosphärilien fortgeschafft, so daß man nur noch aus Resten, die gelegentlich umherliegen, erkennt, daß es vorhanden war. Über den tieferen, weniger emporgestiegenen Streifen blieb es erhalten.

Erhalten ist das Devon vor allem in einem Graben (fossa magna de Geers), der von Bruchlinien begrenzt wird, die mit der Westküste der Roten Bai und mit der Ostküste der Wijde Bai zusammenfallen und in Verlängerung derselben südwärts gezeichnet werden. Sie folgen der Richtung NNW—SSO, wie die Falten des älteren Hekla Hook-Gebirges, und sind wohl die wichtigsten in der Tektonik des Landes. Zwischen ihnen liegt Devon, meist horizontal, und zwar von der Oberfläche des Landes bis zum Meeresniveau und auch noch darunter. Westlich von ihnen bildet Hekla Hook-Gebirge die Landoberfläche und östlich Urgebirge mit Höhen von 1000 m und mehr. Zwischen den Brüchen sind diese älteren Formationen heute unter dem Devon, also unter dem Meeresspiegel zu suchen.

Der Graben ist also ein tieferer Landstreifen zwischen höheren. Alle Streifen lagen einmal unter dem Meer und wurden mit marinen devonischen Ablagerungen überdeckt. Dann stiegen sie empor, doch ungleich, der Grabenstreifen am wenigsten, weil er heute tiefer liegt, als die Streifen daneben, aber höher als früher, weil sein Devon sich unter dem Meeresspiegel bildete und jetzt teilweise darüber liegt. Nur in der Roten und in der Wijde Bai, die in den beiden Grenzzonen des Grabens liegen, liegt der Meeresspiegel auch heute noch über dem Devon. Sie sind die tiefsten Teile des Grabens, also entweder am wenigsten emporgestiegen oder für sich allein von neuem abgesunken, als das Gebiet des Devongrabens, dem sie angehören, emporstieg.

Die Brüche, welche den Graben begrenzen, sind noch weit nach Süden hin kenntlich. Der östliche Grenzbruch ist an einer der innersten Verzweigungen des Eisfjords, der Klaas Billen Bai, wiedergefunden worden, und der westliche östlich vom Hintergrunde der Königs-Bai, sowie am Eingang des Eisfjordes westlich von der Safe Bai und der Grünen Bai, ferner an Bellsund und Hornsund. Der Eisfjord schneidet mithin nicht allein durch das Hekla Hook-Gebirge, das

die Küste westlich vom westlichen Grenzbruch begleitet, sondern auch durch den ganzen Graben hindurch. Die Königs-Bai liegt dagegen fast ganz im Hekla Hook-Gebirge und nur mit ihrem Hintergrund im Devon, während Bellsund und Hornsund mit ihren Eingängen im Hekla Hook-Gebirge und mit ihren inneren Teilen im devonischen Graben liegen. Diese Verschiedenheit der Lage ist für die Landschaftsformen der Baien bestimmend.

Das Magdalenabaigebiet liegt ganz im Urgebirge. Von der Roten Bai liegt der Boden und die Ostseite, von der Wijde Bai der Boden und die Westseite im Devon, während die anderen Seiten beider im Urgebirge liegen. Das Devon bildet also einen mittleren Streifen, der sich von der Nordküste an in etwa 35 km Abstand von der Westküste und parallel zu dieser südsüdostwärts durch Westspitzbergen zieht. Er wird durch die Fjorde gegliedert, die von Westen in ihn hinein oder, wie der Eisfjord, ganz durch ihn hindurch schneiden und sich in ihm verästeln, fast noch mehr gegliedert, als das Hekla Hook-Gebirge an der Küste, in dem die Fjordeingänge liegen.

Wie erwähnt, ist die Lagerung des Devons zwischen den Brüchen meistens horizontal, also diskordant auf der untersilurischen Hekla Hook-Formation, die in Falten gelegt ist. Nach der Faltung dieser soll die Tektonik wesentlich durch die obigen Brüche beherrscht sein. Ich besitze nicht genug Material, um hierzu Stellung zu nehmen, und will nur kurz bemerken, daß ich an zwei Stellen den Eindruck hatte, daß der devonische rote Sandstein noch an den Faltungen teilnimmt. Die eine Stelle liegt östlich von der Roten Bai beim Richard-See am Solander Berg und nördlich davon wo ich Glimmerschiefer und darüber rote Konglomerate konkordant NNW streichend und etwa unter 40^0 WSW fallend fand. Der Glimmerschiefer gleicht dem der Hekla Hook-Formation, doch rechnet man ihn an dieser Stelle wohl zum Devon. Die andere Stelle liegt im Hintergrunde der Königs-Bai, wo das rote Konglomerat auf den beiden östlichen Loven-Inseln nördlich streicht und westlich fällt, während es weiter östlich auf dem Ossian Sars Felsen zwischen den beiden Armen des Königsgletschers nördlich streicht und östlich fällt. Ich hatte hier den Eindruck einer nördlich streichenden Antiklinale, die zerbrochen und teilweise zur Tiefe gesunken ist. In den niedergebrochenen Teilen liegt der Hintergrund der Königs-Bai. An ihrem Nordufer östlich vom Blomstrandgletscher sah ich aus der Ferne das Konglomerat auch in Verbindung mit Hekla Hook, konnte aber nicht entscheiden, ob es diskordant oder konkordant darauf liegt.

Nach diesen beiden Beobachtungen kann ich natürlich die Frage nach den relativen Lagerungsverhältnissen zwischen Devon und Silur nicht entscheiden, auch nicht, ob das Devon überhaupt gefaltet ist. An der Roten Bai

hatte ich freilich den Eindruck einer Konkordanz zwischen Silur und Devon und einer Mitfaltung des Devons, doch fällt diese Annahme dann, wenn die erwähnten dortigen Glimmerschiefer nicht Hekla Hook, sondern selbst Devon sind. In Skandinavien und Schottland reichen die entsprechenden Gebirgsfaltungen bis ins Devon hinein; in Spitzbergen werden dagegen Störungen des Devons als Flexuren aufgefaßt, auch wenn sie als Faltungen erscheinen, wie im obigen Fall. Vielleicht nehmen nur die unteren Lagen des Devon an der Hekla Hook-Faltung teil. Die eingehenden Untersuchungen von Herrn A. Hoel bei den Isachsen-Expeditionen dürften hierüber weiteres Licht verbreiten.

Morphologisch wichtig ist, daß östlich von der Roten Bai jene Glimmerschiefer anstehen, die früher von rotem devonischen Sandstein überlagert waren, wie ich aus zurückgebliebenen Resten desselben ersah. Sie gleichen den Hekla Hook-Schiefern und bilden auch dieselben Landschaftsformen, wie diese. An der Nordküste östlich von der Roten Bai sieht man sie zwischen zwei roten Sandsteinkomplexen ausstreichen und die Formen der Nordküste bestimmen.

Von den jüngeren Formationen Spitzbergens nimmt man an, daß sie im allgemeinen konkordant auf das Devon folgen und wie dieses mehr durch Brüche und Schleppungen als durch Faltungen gestört sind. Es kommen aber bis zum Tertiär auch Faltungen vor, die wieder nahezu parallel zur Westküste streichen. So macht de Geer darauf aufmerksam, daß die Täler, in denen große Gletscher dem Eisfjord von Norden her zuströmen, zwischen harten karbonischen Rücken liegen, und daß diese durch Faltung von der Westseite her entstanden seien. Die zwischen ihnen eingefalteten weicheren mesozoischen Gesteine seien entfernt.

Sicher haben aber auch jüngere Brüche und Verwerfungen dieses Gebirge gestört, ebenfalls bis zum Tertiär. Sie streichen teils parallel zur Westküste, wie die älteren Brüche an den Grenzen des Grabens, teils quer dazu, teils von den ersteren abzweigend. So ist das Südufer der Königs-Bai von einem tertiären Bruch begleitet, an dem die dortigen Kohlenflöze geschleppt zu sehen sind, vor allem sind die Ufer der inneren Teile des Eisfjords in verschiedenen Richtungen von jüngeren Brüchen begleitet. Dieses Gebiet, das zum großen Graben gehört, ist überhaupt so mannigfach zerbrochen und verworfen, daß das Devon darin fast ganz verschwindet. Jüngere Gebirgsglieder, Karbon, Perm, Trias, Jura und Tertiär, aber auch vulkanische Gänge, bilden in bunter Folge die Ufer. Das Devon muß man hier meist in der Tiefe suchen. Am Nordufer der inneren Teile des Eisfjords ist es noch gelegentlich zu sehen, am Südufer nicht, sondern dann erst wieder weiter südlich im Hintergrunde des Hornsundes.

Der Eisfjord liegt somit heute zum größten Teil weder im Hekla Hook, das nur seinen Eingang kreuzt, noch im Devon, sondern in jüngeren Kalksteinen, Sandsteinen und Schiefern, die in dichter Wechsellagerung und in bunter Ausbildung aufeinander folgen und vielfach Kohlenflöze enthalten. Ihre Lagerung im Süden, auf Nordenskjölds-Land, ist horizontal oder wenig geneigt, im Norden gefaltet und verworfen. Für die Einzelheiten darf ich auf die Arbeiten von Nathorst und de Geer verweisen. Der bunte Wechsel der Formationen und ihrer Lagerungen im Eisfjordgebiet bestimmt dessen Landschaftsformen im Gegensatz zu den Formen der Urgebirgs-, Hekla Hook- und der devonischen Sandstein-Gebiete.

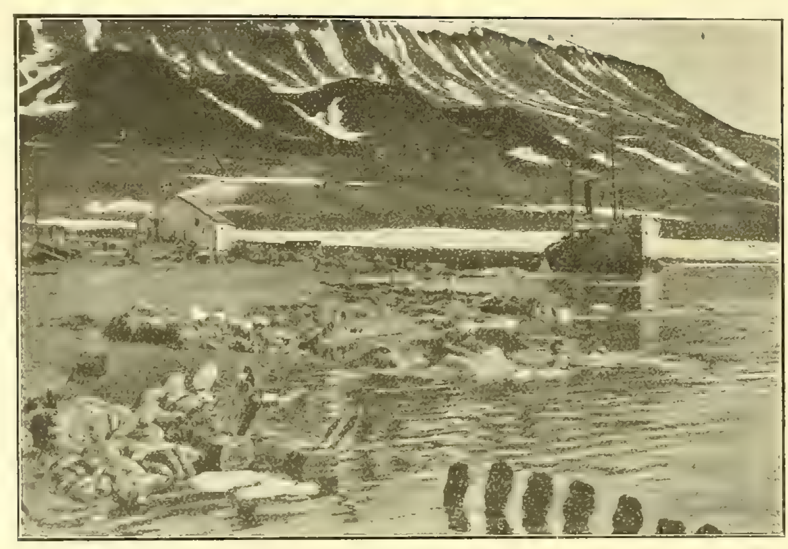
III. Die Formen des Landes.

Das von der Mainz-Expedition bereiste Gebiet umfaßt den Eisfjord und geht von dort an der Westküste nordwärts und dann an der Nordküste ostwärts bis zu den Gebieten zwischen der Roten und der Liefde Bai. Ausblicke konnten auch noch auf Neufriesland zwischen Wijde Bai und Hinlopenstraße genommen werden. Innerhalb dieser Gebiete sind alle großen Fjorde und Buchten besucht worden, desgleichen fast alle Verzweigungen derselben bis zu ihrem Hintergrund hin. So gab die Fahrt einen guten Überblick über die Formen des Landes.

Es ließen sich vier Formengruppen unterscheiden, deren Gestaltung und Abgrenzung mit dem Bau und Gesteinscharakter zusammenhängt. Ich möchte sie als den Urgebirgs-, den Hekla Hook-, den Old Red- (alten roten Sandstein) und den Eisfjord-Typ unterscheiden. Nur der letzte Typ ist nicht nach dem Gesteinscharakter benannt, weil er gerade auf dem Wechsel verschiedener Gesteine und Lagerungsformen beruht, die im Eisfjordgebiet vorkommen. Die anderen Typen habe ich nach den Gesteinen bezeichnet, die ihren Charakter im wesentlichen bestimmen.

Das Eisfjordgebiet hat im Süden und im Norden verschiedenen Bau und entsprechend verschiedene Landformen. Nordenskjölds-Land im Süden ist ein tertiäres Sandsteinplateau, das zum Meer treppenförmig abfällt. Drei Meeresbuchten (Advent-, Coles- und Grüne Bai) greifen vom Eisfjord hinein und werden durch Täler landeinwärts fortgesetzt, an deren Wänden sich der gleiche Treppenbau wiederholt, wie er an den Baien und an der Südwand des Eisfjord zu sehen ist. Die Böden dieser Täler sind breit und zu beiden Seiten am Fuße der Talwände mit Gebirgsschutt bedeckt, der auch auf den Böden der höheren Treppenstufen liegt, bisweilen in deren ganzer Breite. Der Stufenbau hängt mit der Wechsellagerung harter und weicher Schichten zusammen, die ver-

schieden stark verwittern. Erstere fallen mit steilen Wänden, letztere mit sanfteren Böschungen ab. Vielfach sind die wechsellagernden Schichten auch verschieden gefärbt. Helle Kalk- oder Sandsteine werden dann durch dunkle Schiefer oder Kohlenflötze getrennt, die wie Bänder die hellen Felsen umgürten.



A. Miethe phot.

Figur 1.

Junge Talrisse und Stufenbau an der Ostwand der Grünen Bai.

Zwischen den Baien sind die Wände des Eisfjords von einer großen Zahl steiler paralleler Rinnen durchrissen, die meist eng und wenig eingetieft sind und sich erst oben, am Plateaurand, trichterförmig etwas erweitern (Figur 1). Im Verein mit der horizontalen Schichtung, die sie durchkreuzen, geben sie den südlichen Wänden des Eisfjords oft ein sehr schematisches Aussehen. Es sind junge Talbildungen, die wohl erst nach der Eiszeit entstanden, da sie die von dieser gestalteten Wände durchschneiden. Sie enthielten im Juli vielfach Schnee bis zum Meer herab und erschienen dann als Schneestreifen, deren Weiß mit den dunklen Lagen in den Steilwänden lebhaft kontrastierte. Zu Gletscherbildungen kommt es dabei wohl meist nicht, auch stehen diese Schneerunsen mit dem Eise, das auf dem Plateau liegt, nicht in Zusammenhang (Figur 1).

Die Nordseite des Eisfjordgebietes ist komplizierter gebaut, da dort Falten, Flexuren und Brüche der postdevonischen Bildungen an den Fjordwänden und an der Oberfläche ausstreichen. So bildet hier nicht eine einheitliche Gesteinsschicht die Außenflächen wie im Süden, sondern bald dieses bald jenes Gestein, das dort ausstreicht. Harte Schichten sind dann erhalten geblieben und erscheinen

als Rücken, während die weichen dazwischen erodiert sind und nun Täler bilden, in denen große Gletscher zum Eisfjord herabströmen. Die Rücken sind oft durch Nebentäler zerschnitten und bestehen dann nur noch aus Gipfelreihen. So ist das Land kein Plateau wie an der Südseite, sondern in Rücken und Gipfel aufgelöst und mannigfaltig gestaltet. Den Stufenbau findet man aber auch hier fast überall, da weiche und harte Gesteine in dichter Folge wechsellagern. Nur sind die Stufen vielfach geneigt, da die Schichten nicht horizontal liegen, sondern gefaltet und verworfen sind (Figur 2).

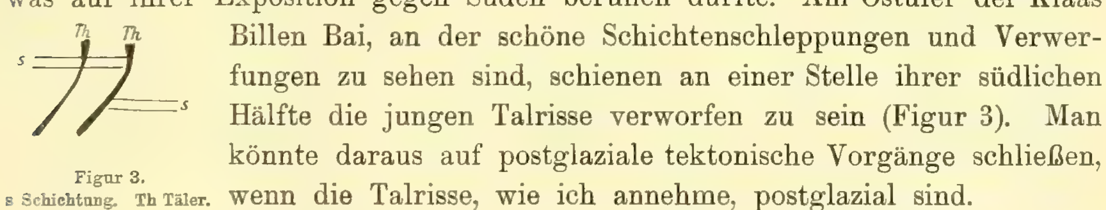


M. Reich phot.

Figur 2.

Geneigte Schichten und junge Talrisse im Hintergrunde der Klaas Billen Bai.

Die Tal- und Fjordwände sind von ähnlichen *jungen Rissen* zerschnitten wie im Süden, nur waren diese im Norden im Juli meist schon freier von Schnee, was auf ihrer Exposition gegen Süden beruhen dürfte. Am Ostufer der Klaas Billen Bai, an der schöne Schichtenschleppungen und Verwerfungen zu sehen sind, schienen an einer Stelle ihrer südlichen Hälfte die jungen Talrisse verworfen zu sein (Figur 3). Man könnte daraus auf postglaziale tektonische Vorgänge schließen, wenn die Talrisse, wie ich annehme, postglazial sind.



Figur 3.
s Schichtung. Th Täler.

Unter den Formen des Eisfjords sind schließlich *ausgedehnte Strandebenen* mit ihren Tundren zu erwähnen, die den Wänden der Ketten und Hochebenen vorgelagert sind, besonders wo zwei Wände sich an Ecken treffen. Sie gehen in die Talböden über, wo diese den Fjord erreichen; doch seien diese

Strandebenen erst später (Abschnitt 7) im Zusammenhang näher besprochen, wie auch die Gletscher (Abschnitt 4—6).

Von dem zweiten Formentyp, dem des devonischen Old Red oder des alten roten Sandsteins, ist weniger zu sagen. Ich sah ihn im Hintergrunde der Königs-Bai und am Ostufer der Roten Bai, wo das Devon an beiden Stellen aus festen Konglomeraten besteht; zusammenhängender sah ich ihn auch an der Nordküste zwischen der Roten und der Liefde Bai an den Felsen, die nordöstlich mit Welcome Pt. enden. An dieser letzten Stelle bildet der alte Sandstein ein einförmiges rotes Plateau, das steil nach Norden abfällt und unten durch eine lange niedrige zungenförmige Strandebene gegen Muffen-Eiland hin fortgesetzt wird. Diese Insel habe ich nicht gesehen, weil sie von Eis umlagert war und unser Schiff ihr nicht nahen konnte, doch wird sie auch als ganz niedrig geschildert und könnte eine vom Meer heute abgetrennte Fortsetzung der erwähnten Strandzunge sein.

Das Sandsteinplateau war wenig durchtalt und wenig geschartet. Stufenbau fehlt, da das Gestein einheitlich ist. Desgleichen sah man nicht so viele parallele Talrisse wie im Eisfjordgebiet, was mich in der Ansicht bestärkte, daß diese jung sind. Der rote Sandstein ist härter als der junge tertiäre Sandstein des Nordenskjöld-Landes, so daß in der verhältnismäßig kurzen Postglazialzeit so viele enge Talrisse sich wohl in letzterem, aber nicht in ersterem bilden konnten.

Das zweite Old Red-Gebiet, das ich sah, liegt an der Roten Bai, die auch selbst im Old Red eingesunken ist. Der Berg, der ihren Hintergrund teilt, ist ein nach Norden steil, nach Osten mäßig geneigter Sandsteinfelsen mit geneigter Schichtung. Auch am nördlichen Teil des Ostufers treten rote Sandsteinfelsen auf, die der Bai wohl mit den Namen gegeben haben, der außerdem aber auch in dem reichlichen Vorkommen roter Flechten begründet ist. Im Gebiete des Richard-Sees treten rote Konglomerate ans Ufer heran, die abgeschliffen und gerundet sind und sicher früher von Eis überströmt waren.

Die Old Red-Formen bilden an der Roten Bai heute nur kleinere Komplexe zwischen Tälern, die aus den höheren Glimmerschieferfelsen östlich vom dortigen Old Red herkommen und von dort auch Gletscher herleiten, deren ich am Ostufer der Roten Bai im ganzen zehn zählte. Sie sind schuttreich und erreichen nicht das Meer, sondern endigen vorher zwischen den Old Red-Felsen und teilweise auch noch östlich hinter diesen.

Ehemals waren die Sandsteinbildungen hier ausgedehnter und haben noch die Glimmerschieferzüge zwischen der Roten und der Liefde Bai bedeckt, da sich Reste von ihnen auf jenen z. B. auf dem Solander Berg vorfinden, die ihrer Form und Lage nach nicht vom Eise dorthin gebracht waren, denn sie hatten

keine Geschiebeformen. Dieses Merkmal könnte freilich täuschen, da die Form der Reste durch Eis gestaltet gewesen und später durch Verwitterung verändert sein kann, doch machte auch ihre Lage einen Transport durch Eis unwahrscheinlich.

An der Königs-Bai bilden rote Konglomerate den vom Eis gerundeten und danach stark verwitterten Ossian Sars-Felsen zwischen den beiden Ästen des großen Königsgletschers im Hintergrunde der Bai, desgleichen die östlichen Loven-Inseln, die auch vom Eise bearbeitet sind. Unter den steilen grauen Gipfeln östlich von den Königsgletschern — die drei Kronen gehören dazu — sieht man rote Sandsteinfelsen mit mäßigen Böschungen, und nördlich vom Hintergrunde der Königs-Bai am Blomstrandgletscher sieht man kleinere Partien von Old Red auf Hekla Hook. Von umfangreicheren Old Red-Bildungen und damit von einem Old Red-Typus kann ich aber nur an der Nordküste zwischen der Roten und der Liefde Bai sprechen, wo er als einförmiges, wenig durchtaltes und wenig vereistes Plateau erscheint. Hohe rote Sandsteingipfel östlich vom Monaco-Gletscher und vom Isachsen-Plateau sollen auch Plateaucharakter haben, wie mir Herr A. Hoel freundlichst mitteilte. Dieser und steile, nicht gestufte Wände sind die Merkmale des Old Red Typs.

Der dritte Formentyp ist der des Hekla Hook-Gebirges. Er nimmt, von wenigen Stellen abgesehen, die ganze Westküste bis zum ersten Gletscher nördlich vom Eingang der Königs-Bai ein. Auch Prinz Karl-Vorland gehört fast ganz dazu. Er enthält die wechselvollsten und schönsten Formen der Inselgruppe und darunter jene spitzen Kegel und scharfen Grate, die ihr den Namen gegeben haben. Prinz Karl-Vorland könnte man als eine Kette von Kegeln bezeichnen, die freilich nicht ganz so spitz sind, wie die an der Küste dahinter und auch nicht so hoch.

Die Umgebung der Kreuz-Bai zeigt diesen Hekla Hook-Typ in der Vollendung, auch sieht man seine Formenfülle schon bei der ersten Annäherung an die Insel von Süden her; seine höchsten Gipfel liegen im Gebiete des Bellsunds. Man findet ihn schließlich an der Nordküste in dem Glimmerschieferzug zwischen der Roten und der Liefde Bai wieder (p. 9), östlich von den roten Sandsteinfelsen, die das Ostufer der Roten Bai bilden.

Der Hekla Hook-Typ hat alpine Formen, wie man sie z. B. in den Hohen Tauern und den Zillertaler Alpen sieht. Er besteht auch aus ähnlichen Gesteinen, wie diese. Er ist kreuz und quer von Tälern durchschnitten, die von steilen Wänden eingefaßt sind. Der Boden dieser Täler liegt heute teilweise unter dem Meeresniveau und ist überflutet wie in der Kreuz-Bai und in den Fjorden, die sie verzweigen. Wo er über dem Meer liegt, ist er fast immer von Gletschern

bedeckt und war es früher noch mehr, wie die trogförmigen Formen heute eisfreier Täler, ferner Rundköcker und geschliffene Felsen darin und runde Inseln in den Fjorden bekunden. Die Talwände sind zersprungen und unten von Blockhalden begleitet; auch die Gipfel und Grate sind durch Verwitterung zerfressen und durchrissen. Die Verwitterungsformen und ihre Produkte sind zum großen Teil älter als die Eiszeit, denn sie sind in den sichtlich vom Eise gestalteten Felsteilen seltener. Letztere liegen unten und man kann hier ausschließen, daß das Eis früher nicht das ganze Land, sondern nur seine unteren Partien bedeckt hat. hat. Häufig kann man auch obere Schliffgrenzen sehen.

Im Hekla Hook-Typ ist, wie man sagen könnte, kein Riß und keine Kluft im Gestein von der Talbildung unbenutzt geblieben, sei es, daß Risse und Klüfte auf Verwitterung oder auf der Struktur der Gesteine oder auf beiden beruhen. So ist die Fülle der Talformen, nämlich der Mulden und Nischen und Kare, sowie der Talrisse, die von jenen herabführen, und der großen Taltröge unten außerordentlich groß. *Kare* findet man in allen Entwicklungsstadien, von geringen steilwandigen Eintiefungen in den Graten an bis zu den tiefen Scharten, die letztere ganz durchbrechen. Ihren Boden sieht man nicht, da er meistens von Schnee und Eis bedeckt ist, die darauf kleine Gletscher bilden, welche wie angeklemmt an den Felswänden liegen (siehe unten), oder Sattelgletscher, die den Hintergrund der Kare mit überziehen und nun auf beiden Seiten zu den Fjorden herabhängen, wie z. B. am Haakongebirge. Häufig sieht man auch Trichter in den Wänden, bei denen die Karform noch nicht ausgeprägt ist, und aus denselben steile Gletscher zu den Haupttälern herabströmen. Kare, Mulden und Trichter finden sich in allen Höhen abwärts bis zum Meeresniveau.

Der *vierte Formentyp* Spitzbergens gehört dem Urgebirge, also dem Gneis und dem Granit an. Ich sah ihn zwischen der Magdalena-Bai und der Roten Bai, wo das Urgebirge die Nordwestecke der Insel erfüllt. Er hat steilwandige klotzige Felsformen (Figur 4), die nach oben an etwas abgerundeten Kanten in Hochflächen übergehen, die nicht eben sind, sondern mit niedrigen runden Kuppen besetzt. Die Dänische und die Amsterdam Insel, Kloven-Kliff, Vogelsang und die beiden Norwegischen Inseln haben diesen Typ, desgleichen die Küstenfelsen ihnen gegenüber. Schon zwischen den sieben Gletschern nördlich vom Eingang der Königs-Bai sieht man seine Formen.

Die Talbildung ist im Urgebirge nicht so reich wie im Hekla Hook und hat gröbere Formen. Auch hier schließt sie wohl oft an Klüfte an, die im Gestein vorhanden waren. Denn die Wände der Täler sind steil, wie Kluftwände, desgleichen ihr Hintergrund. Die Talböden sind breit und kurz. Wasser-

erosion könnte solche Formen nicht schaffen, da sie zu kurz sind, um die Wasserkraft sich entfalten zu lassen. Eiskraft war dabei tätig, denn man sieht in den Schliffen der Wände ihre Spuren, doch ist nicht anzunehmen, daß sie allein diese Täler schuf, sondern wol nur daß sie Klüfte ausgearbeitet hat.



A. Miethe phot.

Figur 4.

Granitfelsen am Westufer der Roten Bai.

Die Oberflächenformen der Klötze sind gerundet und anscheinend vom Eise geglättet; selbst auf den Oberflächen der p. 16 erwähnten kleinen Inseln sieht man Rundhöckerformen. Nur hat starke Verwitterung diese teilweise wieder zerstört und z. B. auf der Ostseite der Dänen-Insel in rauhe, durchklüftete und nun von Schneerunsen durchzogenen Formen umgestaltet. Aus den Klüften und Trichtern der Höhen ziehen dann Schuttstreifen herab, die stellenweise, z. B. am Westufer der Foul Bai, mit Eis durchmengt sind. Die Talböden sind von Blockmeeren bedeckt, wie an der Virgo-Bai. Die Blöcke sind stark verwittert, sichtlich auch durch Winde erodiert, die in der Virgo-Bai sehr heftig sind, so daß ich im einzelnen nicht entscheiden konnte, ob sie durch Eistransport dorthin gebracht oder an Ort und Stelle aus dem anstehenden Fels ausgewittert waren, da die für diese beiden Fälle charakteristischen Merkmale zerstört sind. Beides ist möglich.

IV. Die Vereisungstypen Spitzbergens.

Über Art und Umfang der Vereisung Spitzbergens ist in den vorigen Abschnitten bereits einiges gesagt worden. Jetzt sollen Einzelheiten der Eisbildungen noch im Zusammenhange behandelt werden.

Man kann auf der Inselgruppe vier Vereisungstypen unterscheiden, nämlich Stufenvereisungen, Nischengletscher, Hochlandeiskappen und Talgletscher, zu denen vielleicht als ein fünfter nach Inlandeis zu nennen wäre. Die ersten beiden Typen liegen an den Talwänden, der dritte auf den Hochflächen des Landes, der vierte auf den tiefen Talböden, während der fünfte, das Inlandeis, alle vier Typen in sich vereinigt, falls man ihn gelten läßt.



A. Miethe phot.

Figur 5.

Stufenvereisungen am Ostufer der Grünen Bai.

Stufenvereisungen findet man im Eisfjordgebiet; sie sind für dessen Landformen charakteristisch und auf sie beschränkt. Ich verstehe darunter Eishänge, die durch den Treppenbau der Talwände gehalten werden, und sich durch ihn so weit entwickeln können, daß sie die Talwände ganz überkleiden. Ich sah sie an den Abhängen des Nordenskjöld-Landes an der Südseite des Eisfjords, wo auf den Böden der Treppenstufen neben Felsschutt auch Schnee lag, immer am Fuße und im Schutze des Abfalls der nächst höheren Stufe.

Er bildete somit weiße Streifen an den Wänden der Baien und Täler. Man sah das im Juli in verschiedenen Höhen und fast durchweg auch noch auf der untersten Stufe, also am Strand (Figur 5).

Bisweilen waren die Böden der Stufen ganz mit Schnee bedeckt, so daß auch der Abfall der nächst höheren darin verschwand. Stellenweise wurden mehrere Stufen durch einen gemeinsamen Schneehang verbunden, so daß man nur noch hier und da die Stufenkanten daraus hervorstecken sah. (Figur 5 oben.) Wenn ein solcher Schneehang liegen bleibt und vereist, entsteht eine Stufenvereisung. Im Süden und Südosten der Grünen Bai dürften einzelne Eishänge, die bis unten herabgingen, ohne oben mit Plateaueis in Verbindung zu stehen, dazu gehören. Auf den Talböden unten können sie in Talgletscher übergehen. Der stark zerklüftete Gletscher aber, der im Südwesten der Grünen Bai bis ins Meer hinausströmt, entstand nicht in dieser Weise, sondern aus den Nischen eines carbonischen Kalkrückens, der den Eingang des Eisfjordes durchquert und das Westufer der Grünen Bai in einigem Abstand begleitet. Die Stufenvereisungen gehören nur den treppenförmig abfallenden Wänden der Sandsteinplateaus an.

Der Norden des Eisfjords ist stärker vereist als seine Südseite. Dabei kommen Stufenvereisungen gelegentlich auch vor, doch wesentlich sieht man dort andere Typen, entsprechend den anderen Landformen, die hier herrschen, nämlich große Talgletscher, die zwischen den erwähnten Rücken härteren Gesteins von einem gemeinsamen Nährgebiet zumeist mit geringer Neigung zum Fjorde herausströmen und zweitens Nischengletscher, die sich in den Nischen dieser Felsrücken und Klötze sammeln. Nicht selten sind die Täler in diesen Rücken oben oder an den Stufenkanten, die sie durchschneiden, trichterförmig erweitert und enthalten dann Schneefüllungen, von denen sich auch Gletscher herabziehen. So ist es gleich am Eingang des Eisfjords, westlich von der Safebai, ferner an der östlichen Wand des hintersten rechten Nährarms des von Postgletschers, an der Ostwand des Gips-Tals, an der Südwand des Hörbyegletschers und an anderen Stellen. Neben solchen Bildungen treten Stufenvereisungen im Norden des Eisfjords entschieden zurück, ohne ganz zu fehlen. Sie scheinen wesentlich zum jungen Sandsteinland zu gehören, wo der Treppenbau der Wände am häufigsten ist. In den alten roten Sandsteinen sah ich diese Form der Vereisung auch nicht.

Als den zweiten Vereisungstyp nannte ich die Nischengletscher und möchte damit alle die Eisbildungen zusammenfassen, die in Eintiefungen der Talwände, der Gipfel und der Grate liegen. Ihre Heimat ist das Hekla Hook-Gebirge mit seinen Schartungen jeder Art und jedes Entwicklungsstadiums

von den Schichtfugen und Verwitterungsklüften an über Talrisse, Trichtertäler und Kare hinweg bis zu Scharten und Pässen, welche die Felsen ganz durchschneiden. In jeder solchen Eintiefung kann sich Schnee sammeln und vereisen, und so ist das Hekla Hook-Gebirge mit seinem Reichtum an Nischen von Schnee- und Eisbildungen völlig durchsetzt (Figur 6 und 7). Es gibt darin auch ganz vereiste Gipfel und Kuppen.



F. Leiber phot.

Figur 6.

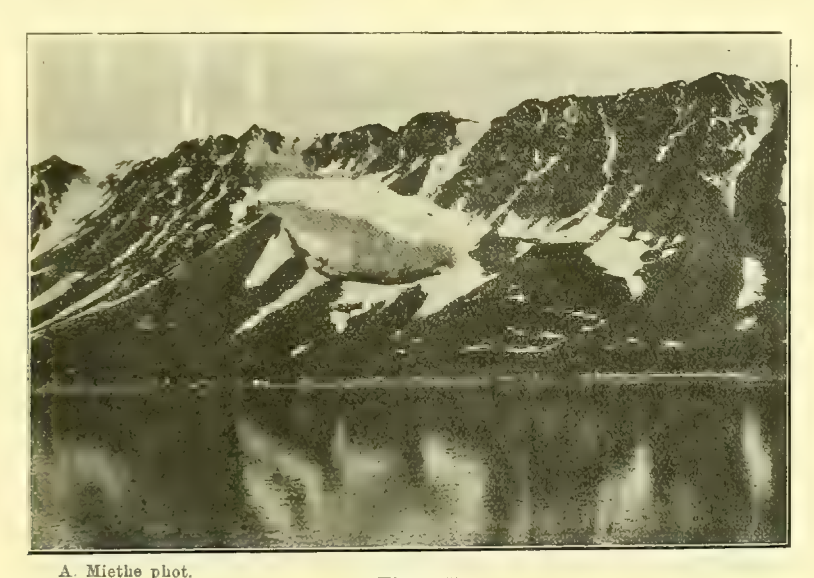
Vereisung des Hekla Hook-Gebirges in der Kreuz-Bai.

In den Gebieten der anderen Landform-Typen fehlen Nischenvereisungen nicht, sind aber seltener. Von den postdevonischen Felsrücken der Nordseite des Eisfjords wurden sie soeben (p. 19) erwähnt; im Urgebirge kommen sie oft vor, doch nicht so häufig wie im Hekla Hook; am seltensten sind sie wohl in den Sandsteingebieten mit Treppenbau.

Der dritte Vereisungstyp oder die Hochlandeiskuppen gehören dagegen wesentlich dem Urgebirge mit seinen hügeligen und welligen Hochflächen an, auf denen der Schnee Ansatzstellen in geschützten Vertiefungen findet, von denen aus er die Hochflächen dann allmählich ganz überzieht. So ist es wohl auf Neu Friesland, östlich der Wijde Bai, das wir freilich nicht besuchen konnten, weil uns Meereis zurückhielt; wir sahen dort aus der Ferne eine fast zusammenhängende, nur von einzelnen Felskanten und Ecken durchbrochene eisige Kappe, die sich zu der über der Küste gelegenen Plateaukante herabwölbte und durch deren Scharten steile Gletscher zum Meere

entsandte. Wir haben sie zunächst für eine Nebelbank gehalten, waren dann aber gewiß, daß es Eis und Schnee war.

Das Urgebirgsgebiet im Nordwesten der Inselgruppe ist nicht so völlig von Eis überzogen wie Neu Friesland. Die Kuppen und Rücken der Felsen sind hier oft frei, doch zwischen ihnen liegt überall Eis und bildet so eine Decke, aus der jene als Nunataks hervorragen (Figur 8). In Buchten und Täler, die in diese Decke einschneiden, stürzt das Eis meist steil herab, woraus man schließen darf, daß die Talschlüsse steil sind.



A. Miethe phot.

Figur 7.

Kargletscher an der Ostwand des Haakon-Gebirges in der Möller-Bai.

Die Felsen sind im Urgestein etwas weniger zerklüftet und geschartet als im Hekla Hook-Gebirge, und deshalb auch nicht so überreich von Schnee und Eis durchzogen wie dort. Auch sind ihre äußeren, zum Meer gekehrten Westseiten weniger vereist als die Ostseiten, z. B. auf der Dänen- und auf der Amsterdam-Insel, weil auf ersteren die herrschenden Westwinde den Ansatz von Schnee erschweren. Wo sich auf den Ostseiten der Wind fängt, wie in der Virgo Bai (p. 17), fehlt die Vereisung auch im Osten, und wo andererseits nach Westen geöffnete Buchten aus irgend einem lokalen Grunde windgeschützt sind, wie die Magdalena-Bai, ist die Vereisung auch an der Westseite stark. Für den Grad ihrer Entwicklung dürfte also außer den mehr oder weniger reich durchklüfteten Felsformen die Lage zum Meer, oder richtiger, zum herrschenden Wind, eine bestimmende Rolle spielen. Im Schutz gegen Wind ist die Vereisung am größten.

Aus diesem Grunde haben die Sandsteinbänder die geringste Vereisung. Sie können keine Hochlandeiskappen bilden, wie die Urgebirgsklötze, weil ihre Hochflächen schutzloser sind, als bei diesen, und keine Nischengletscher, weil ihnen Nischen fehlen. Man sieht das sowohl bei den jungen Sandsteinplateaus des Eisfjordgebiets wie bei dem Old Red-Plateau des Nordens östlich von der Roten Bai. Auf diesem sah ich lokal umgrenzte Eisbezirke, doch keine zusammenhängende Decke, während die Glimmerschieferzüge westlich und die Urgebirgsklötze östlich von ihm reichliche Vereisungen hatten. Auch verdanke ich Herrn A. Hoel die Mitteilung, daß rote Sandsteinfelsen im Innern der Insel



M. Reich phot.

Figur 8.

Urgebirgsvereisung am Westufer der Roten Bai.

eisfrei sind. Der Grund liegt wohl immer in der Schutzlosigkeit der Sandsteinflächen. Denn ihre Entfernung vom Meere kann nicht der Grund sein, da sowohl näher, wie ferner, als sie, vom Meer und damit von den Westwinden, die Niederschlag bringen, gelegene Gebiete Vereisungen haben. Der Gesteinscharakter kann auch nicht der Grund sein, denn die jungen Sandsteine im Eisfjord haben Vereisungen, die alten an der Nordküste nicht; der Sandsteincharakter ist also nicht entscheidend.

Je mehr Schutzstellen aber in den Felsformen vorhanden sind und je günstiger dieselben zu den herrschenden Winden liegen, desto stärker ist die Vereisung. Im Hekla Hook-Gebirge ist sie wegen der Fülle der Schutzstellen am stärksten, demnächst im Urgebirge, namentlich wo es von den herrschenden Westwinden abliegt, und am geringsten

auf den ebenen Sandsteinplateaus. Diesen Einfluß des Windschutzes auf die Entwicklung einer Vereisung sah ich ähnlich in der Antarktis, wo frei und schutzlos liegende Eisberge nicht mehr wachsen, während unmittelbar daneben gelegene Inlandeiscomplexe, die Schutz bieten, sich noch weiter entwickeln.

Stufen-, Nischen- und Hochland-Vereisungen bestehen für sich allein oder gehen unten in Talgletscher über, den vierten Vereisungstypus, den ich genannt habe. Ob ersteres oder letzteres der Fall ist, hängt natürlich davon ab, wo die betreffende Eisbildung endigt. Einige Nischengletscher der Kreuz-Bai, z. B. des Haakon-Gebirges, endigen selbständig an den Wänden über der Bai (Figur 7); das gleiche gilt von Teilen der Hochlandeiskappen, z. B. auf Neu Friesland, und auch eine Stufenvereisung der Grünen Bai endigte selbständig unten am Meer (Figur 5). Solche Bildungen stoßen ihre überschüssigen Massen auch direkt ins Meer ab, wo sie forttreiben. An anderen Stellen fließen die genannten Vereisungstypen dagegen auf Talböden unten zu großen Gletschern zusammen und sind dann die Nährgebiete von Talgletschern.

Es ist nun nicht angängig, die ersten drei Typen durchweg als Nährgebiete und den vierten als ihr Abflußgebiet zu bezeichnen, da die ersteren auch unter die Schneegrenze herabgehen und der letztere auch über ihr vorkommt. Dieser gehört also teilweise selbst noch zum Nährgebiet, jene zu den Abflußgebieten. Der Lilliehook, ein großer Talgletscher, war z. B. Ende Juli noch in 100 m Höhe mit Schnee bedeckt, und auf den Gletschern der Roten Bai sah ich dasselbe Anfang August in noch tieferer Lage, während andererseits damals einige Nischengletscher der Kreuz-Bai schon schneefrei waren. Jener lag also noch und dieser nicht mehr im Nährgebiet. Die Schneegrenze ist augenscheinlich stark lokal beeinflußt. Auf den Felsen schätzt A. Hoel ihre Höhe zu 300—400 m, auf manchen Gletschern und an unbesonnten Hängen liegt sie aber sicher tiefer und geht bis zum Meeresniveau herab. Deshalb können alle vier Vereisungstypen teils Nähr- und teils Abflußgebiete sein, nur daß die drei ersten ihrer meist höheren Lage wegen häufiger zum Nährgebiet und die Talgletscher häufiger zum Abflußgebiet gehören werden.

Die Nährgebiete der Talgletscher haben somit recht verschiedene Formen. Es sind teils Komplexe von Scharten, Nischen und Karen, wie in den Alpen, die ihr Eis zu einem großen Talgletscher vereinigen, teils sind es Hochlandeiskappen, wie in Norwegen, welche Eiszungen in die Täler umher herabsenden, teils sind es die Taltröge selbst. Nach dem früher gesagten ist es verständlich, daß die alpine Form des Nährgebiets im Hekla Hook und die norwegische im Urgebirge vorherrscht. Die Sandsteingebiete haben beide, doch beide weniger entwickelt, da in ihnen Nischeneisbildungen seltener sind,

als im Hekla Hook, und Plateaueisbildungen seltener als im Urgebirge. Dafür haben sie Stufenvereisungen, die auch Nährgebiete von Talgletschern sein können, die Bedeutung der anderen Nährgebiete aber nicht erreichen.

Die Talgletscher selbst haben in den verschiedenen Gebieten Spitzbergens im großen und ganzen ähnliche Formen, gleichgültig, ob sie in den Tälern ernährt werden oder die Abflüsse von Stufen-, Nischen- oder Hochland-Vereisungen sind. Das liegt natürlich an der Ähnlichkeit der großen Talformen, wie sie in den verschiedenen Bezirken trotz mancher Unterschiede im einzelnen besteht. Überall walten die Trogformen vor und darin die Troggletscher, wo sie auch liegen. Nur die Übergänge dieser Gletscher zu den Nährgebieten, also zu den Stufen-, Nischen- und Hochflächen-Vereisungen sind an Steilheit und Breite so verschieden, wie es diese sind.

Die Entwicklung der Talgletscher verdient insofern noch besondere Beachtung, als sie auch jene Eisbildung umfaßt, die als das Inlandeis Spitzbergens bezeichnet worden ist. Sie sind nämlich vielfach so kräftig ernährt — durch Schneeschüttungen in den Tälern selbst und durch Zuflüsse aus den verschiedenen Formen der hohen Nährgebiete — daß sie ihre Täler ganz erfüllen und über Scharten und Wasserscheiden hinweg in die Nebentäler hinüberquellen und dann mit deren Eisbildungen vereint weiter strömen.

Einem solchen ganz erfüllten Talzug gehören z. B. Monaco- und Drei Kronen-Gletscher, sowie die Scheide zwischen beiden, das Isachsen-Eisplateau an. Das Eis sammelt sich hier aus den verschieden geformten Nährgebieten höherer Berge und Rücken zu beiden Seiten des Talzuges, sowie in diesem selbst. Die Ernährung ist so reichlich, daß die Scheide zwischen Monaco- und Drei Kronen-Gletscher ganz übereist ist — es ist das heutige Isachsen-Plateau — und desgleichen die Pässe und Scheiden, die zu den der Kreuz- und der Königs-Bai tributären Tälern hinüberführen. Die Talgletscher dieser letzteren werden also nicht nur von den Höhen, die sie selbst begleiten, gespeist, sondern auch aus dem genannten großen Talzuge dahinter. Wir haben hier ein zusammenhängendes System großer Talgletscher, ein Eisstromnetz, welches alle Tiefenzüge zwischen den Höhen durchzieht.

Ähnlich ist es in anderen Teilen Spitzbergens, z. B. in der nördlichen Umgebung des Eisfjords, und wir müssen solche Talnetz-Vereisungen wohl von Plateau-Vereisungen unterscheiden, von denen Gletscher ausgehen und nach verschiedenen Seiten in die Täler herabsteigen, wie in Norwegen und in den Urgebirgsgebieten Spitzbergens. In diesen letzteren Fällen haben wir gemeinsame Nährgebiete und getrennte Gletscherzungen, in den Talnetzen aber zusammen-

hängende Gletscher- also Abfluß-Systeme mit getrennten Nährgebieten, die auf den Höhen liegen und auf den Gletschern selbst. Im ersteren Fall sind also die Eisbildungen der Höhen geschlossen, im letzteren die der Tiefenzüge.

In Spitzbergen hat man nun die beiden geschlossenen Vereisungsformen als Inlandeis bezeichnet, nämlich das Plateaueis Neu Friedlands und auch des Nordostlandes sowohl, wie auf der anderen Seite die Talgletschersysteme der Kreuz-Bai, der Königs-Bai und des Eisfjords, doch dürfte die Bezeichnung Inlandeis in beiden Fällen nicht zutreffen. Denn die ersteren Bildungen sind nichts anderes als der norwegische Gletschertypus, nämlich hohe gemeinsame Nährgebiete, von denen Gletscherzungen abfließen, und den zweiten Fall, die Talgletschersysteme, könnte man am besten mit dem Alaska- oder Malaspina-Vereisungstypus vergleichen; auch bei diesem ist das Nährgebiet aufgelöst, während im Abflußgebiet unten Sammlung des Eises und Überstauung der Landformen erfolgt.

Ein wirkliches Inlandeis gibt es sonach in Spitzbergen nicht. Nur darin gleichen die Talgletschersysteme des Landes einem Inlandeis und weichen gleichzeitig vom Malaspinatypus ab, daß ihre Ernährung nicht allein von den Höhen her, sondern auch noch durch Schneeschüttungen in den Tälern erfolgt. Auch ein Inlandeis wird — von lokalen Verhältnissen abgesehen — in seinem ganzen Umfang gespeist, während die Malaspina-Vereisung eine Gletscherzunge, also ein Abflußgebiet ist.

Nach dem hier gesagten könnte man ganz allgemein zu der folgenden Klassifikation der Eisbildungen kommen:

I. Alpiner Typus: Ernährung aus umgrenzten, isolierten Hohlformen der Höhen, also aus Trichtern, Mulden, Klüften und Karen; Sammlung und Abfluß in umgrenzten einzelnen Tälern; also Auflösung im Nähr- und im Abflußgebiet.

II. Norwegischer Typus: Ernährung aus geschlossenen Bildungen der Höhen; Abfluß in davon ausstrahlenden einzelnen Zungen; also Geschlossenheit im Nähr-, Auflösung im Abflußgebiet.

III. Alaska-Typus: Ernährung aus umgrenzten, isolierten Hohlformen der Höhen, wie beim Alpinen Typus; Sammlung und gemeinsamer Abfluß in der Tiefe; also Auflösung im Nährgebiet, Geschlossenheit im Abflußgebiet.

IV. Inlandeis-Typus: Ernährung aus geschlossenen Bildungen der Hochflächen oder der hohen Talformen, deren Füllungen zusammenquellen,

und dazu aus den Schneeschüttungen im ganzen Umkreis der Vereisung; weiteres Zusammenquellen und gemeinsamer, erst ganz zuletzt ein wenig gelappter Abfluß in der Tiefe; also Geschlossenheit im Nähr- und im Abflußgebiet.

In diesen vier Klassen dürften alle Eisbildungen der Erde unterzubringen sein. Weitere Klassifikationen, die man machen will, hängen von Einzelheiten der Landformen ab, die ihren Einfluß selbst bei den größten Inlandeisbildungen erkennen lassen. Es würde sich bei weiteren Gliederungen also mehr um eine Klassifikation der Landformen als der Vereisungen handeln, während die obige auf die Landformen nur sekundär Rücksicht nimmt und primär auf der Entwicklungsart der Vereisung beruht. Und wenn das Talgletschersystem Spitzbergens auch zwischen den Typen III und IV steht, wie ich erwähnte, so wird seine Stellung damit nicht unklar. Seiner heutigen Entwicklung nach gehört es zu III und hat dazu auch in der Eiszeit gehört. Ein Inlandeis würde es erst werden, wenn die Ernährung so mächtig würde, daß sich das Eis auf den Höhen und in der Tiefe ganz zusammenschlösse. Daß die Talgletscher teilweise auch in der Tiefe ernährt sind, ändert an dieser Tatsache nichts und ebensowenig der Umstand, daß ihre Höhenernährung teils in alpiner, teils in norwegischer Weise erfolgt. Das sind untergeordnete Modifikationen, welche die obige Klassifikation nicht verwischen. Wegen seiner Auflösung meist schon in den Nährgebieten und noch in den Abflußgebieten, ist Spitzbergens Vereisung kein Inlandeis. Oben und unten liegt sie auf und in den verschiedenartigsten Formen und schließt sich gelegentlich auch in verschiedener Weise über denselben zusammen, doch sie tritt nicht überall und nicht allen Formentypen gegenüber in gleicher Weise geschlossen auf und ermangelt damit des Hauptcharakterszuges, der zum Wesen des Inlandeises gehört. Neben ganz vereisten Höhen und Tälern aller Formen finden sich überall auch gänzlich eisfreie (Sassental). Wir haben also keine Eisüberschwemmung des ganzen Landes, sondern nur lokal gesteigerte Vereisungen einzelner Teile desselben, also kein Inlandeis.

V. Einzelbeobachtungen über die Vereisung Spitzbergens.

Nach der voranstehenden Gruppierung der Eisformen stelle ich im folgenden die Beobachtungen zusammen, die ich an den Gletschern Spitzbergens im einzelnen anstellen konnte. Sie sind teilweise im vorigen Abschnitt schon mit verwertet worden.

A. Die Gletscher des Eisfjords.

1. In der SW Ecke der Grünen Bai erreicht ein stark zerklüfteter Gletscher das Meer. Seine Oberfläche ist bis zuletzt geneigt. Er kommt aus Mulden eines carbonischen Felsrückens her, sammelt sich in einem Tal und strömt zuletzt über niedriges Vorland bis ans Meer, dürfte aber keine Eisberge bilden, sondern nur kleinere Eisstücke abstoßen, da seine Zunge nicht eintaucht, sondern nur unterspült wird.

Die Südseite der Grünen Bai hat Stufenvereisungen, nämlich Firnfelder. welche die abgestuften Talwände mehr oder weniger überkleiden. Sie gehen fast bis ans Meer. (16. VII. 10.)

2. Der von Postgletscher wird hauptsächlich von der rechten nördlichen Seite her ernährt, da ihm von hier fünf Seitengletscher zuströmen, und außerdem über einen verhältnismässig niedrigen Paß im Osten. Von seinen rechten Seitengletschern drängt der tiefere immer das Eis und die Moränen des höheren südwärts ab, sodaß die Moränen südöstwärts convexe Bogen bilden.

Der unterste rechte Seitengletscher liegt hoch, der zweite und breiteste tief, der dritte höher als der zweite, doch noch tiefer als der erste, der vierte etwa so hoch wie der erste.

Der vierte erhält Trichtergletscher von links. Der fünfte sammelt sich zwischen ihn wenig überhöhenden Felskuppen und liegt schon etwa so hoch, wie der östliche Talhintergrund.

Der unterste Nebengletscher wird durch eine starke Moräne am Meere nach links zum Hauptgletscher hin abgedrängt, vereinigt sich aber nicht mehr völlig mit diesem, sondern nur mit seiner linken Seite und läßt daher zwischen seinem vorderen Rand und dem des Hauptgletschers eine Bucht.

Der Hauptgletscher endigt am Meer mit einer Steilwand, in deren rechter Hälfte man die Moränen der rechten Seitengletscher sieht. Sie bilden darin vertikale dunkle Streifen und an der Oberfläche Schuttwälle. Ich konnte nicht feststellen, ob der Schutt in den Streifen ganz bis unten reicht, hatte aber den Eindruck, daß er in der Nähe der Oberfläche am reichlichsten war. (18. VII. 10.)

3. Das Gipstal ist ein länglicher, am Meere offener, sonst steilwandig umrandeter Zirkus. Von Plateaueis links (also östlich vom Tal) kommen mindestens zwei steile Gletscher hinab, deren Enden im Schutt ersticken. Im Hintergrunde des Gipstals liegt ein Talgletscher, der sich aus mindestens zwei Tälern sammelt. Von rechts (Westen) kommen zwei Täler zum Haupttal. Ob das untere einen Gletscher enthält, konnte ich nicht sehen; das obere hat

einen, der sich aus zwei Tälern sammelt. Seine Zunge ist dick mit Schutt bedeckt und von Radialspalten zerklüftet. (18. VII. 10.)

4. Der Hintergrund der Klaas Billen Bai ist überaus gletscherreich. Der Nordenskjöld-Gletscher strömt der Bai dort von Nordosten und der Hörbye-Gletscher von Nordwesten zu. Letzterer liegt tief zwischen hohen Talwänden, die ihrerseits auch reich durchtalt sind und Gletscher beherbergen. Ich zähle vier solche Nebengletscher von rechts, dann den Hauptgletscher, aus zwei Ästen gesammelt, dann vier Gletscher von links, letztere steiler und kürzer als die rechten. Es können auch noch mehr sein.

Der Nordenskjöld-Gletscher sammelt sich zwischen hohen, steilen Plateaustücken, die von Moränen umkränzt sind. Seine Oberfläche fällt von diesen Felsen des Hintergrundes in zwei Absätzen zum Fjord, verhältnismässig steil und kurz. Vor dem Gletscher liegt ein etwa 5 m hoher Eisberg und mehrere kleine Eisstücke. Der Fjord ist bis zum Ende des Gletschers tief. Die linke Seite des Gletschers hat starke Moränenentwicklung, die von Nebengletschern, welche aus der linken Talwand herauskommen, herrührt. (18. VII. 10.)

B. Die Gletscher zwischen Eisfjord und Königs-Bai.

5. An der Küste Westspitzbergens nördlich vom Eisfjord sieht man viele Gletscher, deren Enden nahe am Meere in starken Moränen liegen. (19. VII. 10.)

6. König Karls Vorland hat kegelförmige Berge, die von Gletschern umströmt sind. (20. VII. 10.)

Die Insel ist eine Kegelkette, doch sind die Berge nicht so spitz, wie auf der Hauptinsel. Sie hat mehrere Talgletscher, von denen zwei oder drei bis nahe ans Meer, doch nicht bis ins Meer strömen. Gegen den Eisfjord, also nach Süden hin, wird sie niedriger, sodaß man von außen über sie hinweg die dahinter auf der Hauptinsel liegenden Talgletscher sieht.

C. Die Gletscher der Königs-Bai.

7. In dem Hintergrund der Königs-Bai endigt der gewaltig breite Königs-Gletscher mit einer Steilwand, die durch den Ossian Sars Felsen in zwei Hälften geteilt wird.

Die linke südliche Hälfte zeigt an der vorderen Steilwand im allgemeinen horizontale Bänderung, die aber vielfach verworfen und dann auch geneigt ist. Spaltbänder setzen schräge durch sie hindurch. Am Fuße der Steilwand ist eine fortlaufende Kehle in der Wasserlinie, die nur an zwei Stellen unterbrochen ist, weil die betreffenden Stellen der Steilwand sich augenscheinlich gesenkt haben, sodaß die Kehle nun unter dem Wasserspiegel

liegt. Man sieht hieraus, daß die Loslösung von Eisbergen durch Niedersinken erfolgt.

Östlich, also hinter dem Ossian Sarsfelsen, zieht der Eisrand über Rundhöcker und biegt auf deren Kuppen etwas weiter nach Osten zurück, als in den Senken dazwischen. Er ist also schwach gelappt. Er ist steil gewölbt und bisweilen eine senkrechte Wand. Man sieht dort überall eine sehr dichte Bänderung, die in dem obersten Viertel der Höhe des Randes viele Steine enthält, dann weniger und erst ganz unten nahe am Boden wieder sehr viele. Unmittelbar über dem Boden zwischen diesem und dem Eis liegt eine dünne Steinlage ohne Eis. Auf der Oberfläche des Eises liegt geschichtete Moräne. Dem Rande entströmen viele kleine Bäche, die sich in das Eis eingegraben haben, doch nicht tief.

Vor dem Eisrand liegt dort eine mächtige Halde eckiger Gesteine. Die kleinen liegen ihm am nächsten, die gröberen weiter ab. Von der Oberfläche des Eises stürzen dauernd Steine nach und man sieht, wie die großen dann viel weiter springen und rollen, als die kleinen. Die Halde ist aber nicht ausschließlich eckiges Oberflächenmaterial, sondern enthält auch Geschiebe mit Schrammen. Der Eisrand hat sich also hier zurückgezogen.

Auch die tiefe Zerschrundung der linken Gletscherhälfte deutet auf Rückgang. Desgleichen eine zwischen ihr und der Südseite des Ossian Sarsfelsens liegende starke, von Bächen zerschnittene Ufer-Moräne, die aus verschiedenen Gesteinen besteht. Sie enthält neben Hekla Hook-Schiefern und den roten devonischen Gesteinen (Sandsteinen und Conglomeraten) auch viel Urgestein.

Der Gletscher sammelt sich also nicht nur aus der näheren Umgebung zwischen den Drei Kronen und den Felsen nördlich von ihnen, wo Devon ansteht, sondern auch von Norden her, da Hekla Hook und Urgestein erst nördlich von der Königs-Bai aus den Gebieten östlich der Kreuz-Bai bekannt ist. Hauptsächlich besteht die Moräne allerdings aus devonischen Sandsteinen und Conglomeraten und daraus entstandenen roten Sanden und Schlammen. Die Aufarbeitung der devonischen Gesteine zu Schlamm ist sehr stark. Man sieht in der Ufermoräne dicke verfestigte Schlammlagen, die von Bächen in vielgestaltige Spitzen, Zacken und Säulen zerschnitten sind. Die Urgesteine sind weniger aufgearbeitet und in der Moräne als schöne größere Geschiebe vertreten.

In der vorderen Steilwand der linken Gletscherhälfte liegt nahe der rechten Seite, also nahe dem Ossian Sarsfelsen, in der Wasserlinie eine große

Grotte mit rot gefärbtem Wasser. Offenbar tritt dort unter dem Eis ein Bach aus, der von dem roten Schlamm der Moräne gefärbt ist. Frisches Bachwasser lassen dort auch die vielen Vögel, die in der Grotte sitzen, vermuten. (27. VII. 10.)

Früher reichte dieser Gletscher weiter nach Westen, denn die Loven-Inseln sind noch ganz geschliffen und mit Geschieben bedeckt. (9. VIII. 10.)

Die rechte nördliche Hälfte des Königs-Gletschers hat auch eine Steilwand am Meer, und darin eine Kehle im Meeresniveau, die bei Ebbe über 1 m hoch ist (Figur 9).



M. Reich phot.

Figur 9.
Kehle in der Steilwand des Königsgletschers.

Diese Hälfte hat am Ende eine gewaltige rechte Seitenmoräne, die aus meist eckigen Gesteinen der Hekla Hook- und der Gneisformation besteht. Sie setzt sich aus mehreren Moränen zusammen, nämlich aus der rechten Seitenmoräne des Hauptgletschers selbst und aus den linken und rechten Seitenmoränen zweier Nebengletscher, die jenem von rechts zuströmen. Die Nebengletscher ersticken im eigenen Schutt, sodaß ihre Seitenmoränen schließlich alle zusammenlaufen.

Die Eisoberfläche dieser Hälfte des Hauptgletschers ist hüglich, doch sind die Hügel nur niedrig, kaum 1 m hoch. Die Spalten sind in der Tiefe vielfach geschlossen, denn in ihnen steht Wasser. Dieser Gletscher ist von seiner rechten Seite bis zu einem Felsen, der ihn etwa in der Mitte durchbricht, leicht zu begehen. Dieser Felsen wird ganz vom Eis umflossen und von ihm

gehen Moränen aus, die sich bis zur Steilwand des Gletschers am Meer verfolgen lassen. Eine Moräne sieht man aber auch schon oberhalb des Felsens auf der Eisoberfläche; sie muß von weiter östlich liegenden Felsen herkommen. Der erst erwähnte Felsen war früher ganz überströmmt, wie seine runden Formen lehren.

Das Korn des Gletschers erreicht Wallnußgröße, doch sind überall Körner verschiedener Größe gemengt. Sie zeigen runde Schmelzfiguren im innern und geschlängelte Schmelzstreifen an ihren äußeren Grenzflächen. (28. VII. 10.)

8. An der Südseite der Königs-Bai endigen die vier Lovengletscher nahe am Meer und weiter westlich, südlich von dem Kohlhafen, noch weitere in größerem Abstand vom Ufer, die ich aber nur undeutlich sah.

Die Lovengletscher endigen auf niedrigem Schuttland, zu dem sie aus höher gelegenen Talmulden steil herabfallen. So trifft man den oberen Teil des westlichsten Lovengletschers hinter dem Kalkrücken, der dort dem Ufer parallel zieht, wie in einem vollen Gefäß. Die Oberfläche des Gletschers liegt dort wenige Meter unter der Höhe des Rückens, während dieser nach Norden mit einer fast 300 m hohen unvereisten Steilwand zum Uferschuttland abfällt. Der Gletscher strömt südlich hinter dem Rücken bis zu dessen Ostecke und fällt dann um diese herum steil nach Norden zum Strand herab. Oben war er (am 9. VIII. 10) mit lockerem, feinkörnigen Schnee bedeckt und hatte östlich, also in seiner dortigen Richtung, streichende Spalten, die eine Durchquerung des Gletschers aber nicht hinderten. Erst gegen die Umbiegung hin wurden sie breiter und schwieriger.

Die Enden der Lovengletscher tragen viel Schutt. Aus und zwischen den beiden westlichen sammelt sich ein Bachsystem, an dem zwei Häuser stehen, das eine unten am Meer, das andere weiter oberhalb zwischen den Gletscherzungen. Bei diesem letzteren steht Kohle an, zwei dünne Flötze zwischen Sandsteinschichten, die nordwestlich streichen und steil südwestlich fallen. Sie streichen augenscheinlich auch unter dem westlichsten Gletscher fort, da im Moränenschutt vor diesem Kohlenstücke liegen.

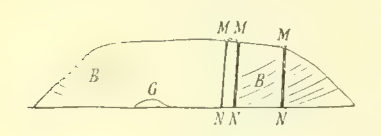
Das Bachsystem hat die von den Gletscherzungen aus seewärts geneigten Schuttkegel zerschnitten und aufgelöst. Die stehen gebliebenen Reste haben dadurch eine von den Gletscherzungen teilweise radial ausstrahlende Ordnung erhalten und sehen wie Drumlins aus, sind aber nur von den Bächen zugeschnittene Gletscherschutt-Streifen.

Das Eis des westlichsten Gletschers ist sehr schuttreich. Die Schuttlagen sind dünn und unter einander parallel; sie bestehen aus Steinen und Sand. Das Gletscherkorn ist klein, meist unter der Größe einer Erbse. (29. VII. 10.)

D. Die Gletscher der Kreuz-Bai.

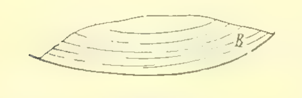
Der Hintergrund der Kreuz-Bai wird durch die König Haakon-Halbinsel in die Lilliehook- und die Möller-Bai gespalten, der Hintergrund der letzteren nochmals durch den Prinz Olav-Felsen in den Möller-Hafen im Westen und die Koller-Bai im Osten. Die Ostseite von Kreuz-, Möller- und Koller-Bai ist gewaltig vergletschert, die Westseite von Kreuz- und Lilliehook-Bai weniger, noch weniger die trennenden Halbinseln dazwischen. Je größer der Landkomplex ist, desto reichlicher (auch relativ) ist seine Vereisung. Das liegt daran, daß die Halbinseln und die Westseite des Systems nur die Eisbildungen haben, die in ihnen entstehen, die Ostseite dagegen auch die, welche sie von dem großen vereisten Talzug, in dem Monakogletscher, Isachsenplateau und Drei Kronengletscher liegen, durchdringen. Die Ostseite hat deshalb große Talgletscher, welche zu dem p. 24 erwähnten zusammenhängenden Netz gehören. Solche treten auch noch in den Hintergrund der Lilliehook-, Möller- und Koller-Bai ein, denn die Felsen, welche diese Baien von einander trennen, sind im Norden von diesem Netz umströmt.

9. Der südlichste große Talgletscher der Ostseite ist der 14. Juli-Gletscher. Er endigt mit einer Steilwand am Meer. Seine Oberfläche hat drei Mittelmoränen im ersten Drittel seiner Breite von Süden, die in der Steilwand als vertikale dunkle Streifen bis unten sichtbar sind. Im nördlichen Teile der Steilwand ist eine große Grotte in der Wasserlinie. Ferner sieht man in der Südhälfte flach nach Nord und in der Nordhälfte flach nach Süd, in beiden Fällen also gegen die Mitte des Gletschers geneigte Bänder. In der Mitte selbst konnte ich sie nicht sehen. (20. und 30. VII. 10.)



Figur 10.
Steilwand des 14. Juli-Gletschers.
B Bändung. G Grotte. M Moräne.
N Naht (dunkle Streifen).

10. Nördlich vom 14. Juli-Gletscher folgt der d'Arodes-Gletscher. Er hat eine Steilwand und darin eine Bänderung wie jener. Beim d'Arodes ist sie jedoch auch in der Mitte sichtbar und liegt dort horizontal. (20. VII. und 1. VIII. 10.)



Figur 11.
Steilwand des d'Arodes-Gletschers.
B Bändung.

11. Der auf den d'Arodes nach Norden nächstfolgende große Talgletscher heißt Louis Tinayre. Er endigt etwas mehr nach Osten zurückliegend in einer Bucht, die sich von der Kreuz-Bai dort abzweigt, wo diese sich in Lilliehook- und Möller-Bai spaltet.

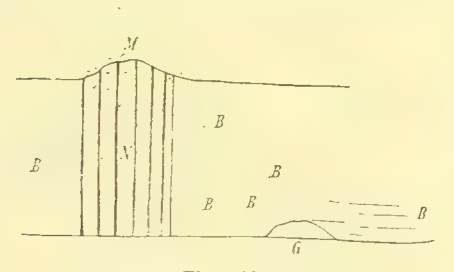
Die Südwand dieser Bucht steigt allmählich vom Meere an und ist erst ganz oben steil. Der steile Teil hat Kare, in denen Gletscher liegen, die durch

Schneerunsen der steilen Karhinterwände gespeist werden und aus Scharten, welche die Wände durchbrechen. Die Gletscher strömen dann als breite Zungen, die von horizontalen Bändern umsäumt werden, auf dem Abhang hinab, endigen jedoch schon in einiger Höhe über dem Meer. (20. VII. 10.)

Der L. Tinayre-Gletscher selbst endigt mit einer Steilwand im Meer und wird von ihm unterspült. Dadurch werden kleinere Eisblöcke abgetrennt und stürzen ins Meer. Im Meeresniveau hat die Steilwand viele kleine Grotten, in ihrem südlichen Teil auch eine große.

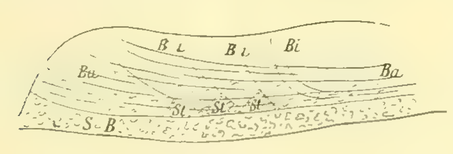
Kurz oberhalb der Steilwand strömt dem L. Tinayre von links ein Seitengletscher zu, dessen rechte Randmoräne im Tinayre Mittelmoräne wird, die in der vordern Steilwand als dunkler Streifen durch die ganze Dicke sichtbar ist. Nur die rechte Hälfte des Seitengletschers erreicht jedoch den Tinayre, während die linke selbstständig kurz vor dem Meere endigt, mit dem Steilrand des Tinayre einen nahezu rechten Winkel bildend. (Die 1906/7 aufgenommene Karte Isachsens des Fürsten von Monaco läßt auch die rechte Hälfte noch selbstständig endigen und zeichnet zwischen der Zunge des Nebengletschers und der Steilwand des L. Tinayre eine längliche Meeresbucht.)

Der dunkle Streifen, den ich erwähnte, besteht aus Steinen, Sand und Schlamm im Eis. An der Oberfläche darüber liegt Moräne. Die Zahl der Steine im Streifen ist gering, doch sind sie von oben bis unten vorhanden und zum Teil vertikal stehende Platten.



Figur 12.
B Bänderung. G Grotte. M Moräne.
N Naht (dunkler Streifen).

Die Bänderung steht zu beiden Seiten des Streifens meistens nahezu senkrecht, wird jedoch mit wachsender Entfernung von ihm immer geneigter, und zwar vom Streifen fortfallend, und schließlich horizontal (Figur 12). Einzelne Bänder südlich vom Streifen fallen schon dicht neben ihm ein wenig von ihm fort und an drei Stellen sah ich, daß sich Bänder dieser letzten Art mit ganz steilen schnitten. In den unteren Teilen der Steilwand sind die Bänder schmutzig.



Figur 13.
Ba alte Bänder. Bi junge Bänder. SB Schuttband.
St Stauung.

Der Nebengletscher wird an seiner linken Seite von einem Bach unterspült und hat dort eine Steilwand. Wo er nicht unterspült wird, ist sein Seitenrand gewölbt. An diesem Seitenrand sieht man die Durchsetzung zweier Bandsysteme (Figur 13). Das eine Ba läuft nahezu

parallel zum Boden, das andere Bi ist Gletscheraufwärts geneigt und zwar nahe der Oberfläche steiler, als nahe dem Boden.

Ich hatte den Eindruck, daß an beiden Systemen — die Bänder sind die Austritte von klaren Eisflächen an der Seitenwand — Verschiebungen stattfinden und zwar der oberen Eislagen über die unteren fort, da die unteren schuttreicher und daher schwerer beweglich sind. Die geneigten Bi halte ich für die jüngeren Verschiebungsflächen, die zum Boden parallelen Ba für die älteren. Letztere haben ihre Beweglichkeit eingebüßt durch Fortschmelzen ihres Eismaterials und relative Anreicherung des Schutts in ihnen dabei. Wo der Schutt am reichlichsten ist St, hört die Beweglichkeit überhaupt auf; dann wird das von oben nachdrängende Eis hier zurückgehalten und schiebt sich schließlich an den geneigten Flächen über die Stauung hinweg. Den Altersunterschied erkennt man an der verschiedenen Frische der beiden Systeme und ihrem verschiedenen Schuttgehalt. (21. und 23. VII. 10.)

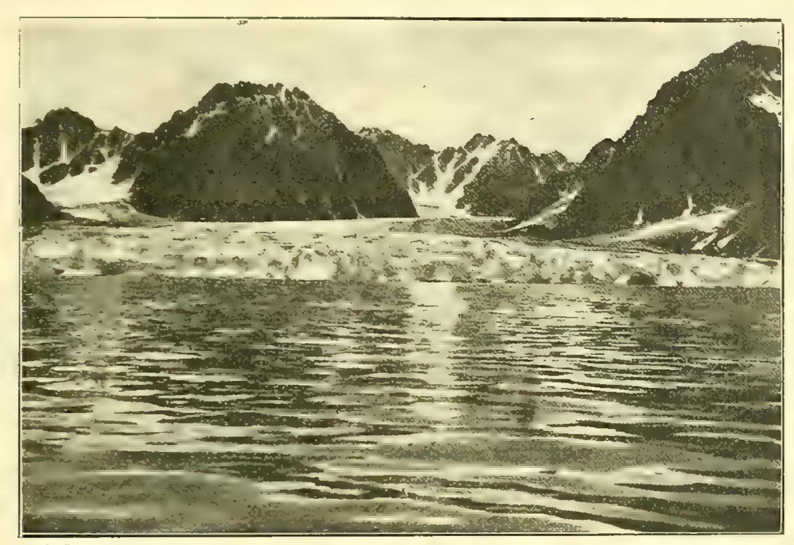
12. Nördlich von L. Tinayre folgen zwei Gletscher, welche das Meer nicht erreichen und kurz vorher in starken Moränen endigen. Der nördliche liegt in einem gewaltigen Kar, dessen Boden wenig über dem Meer liegt und in dessen Hintergrund noch ein höheres Kar eingetieft ist, das auch einen Gletscher enthält, der in Moränen erstickt. Von einem anderen Teil seines Hintergrundes bricht Hochlandeis in Lawinen herunter. Auch der südliche liegt in einem gewaltigen Kar, dessen Hintergrund von einer Scharte durchbrochen ist. Aus dieser strömt ihm Eis zu, desgleichen rechts und links von ihr von den Karhängen. Seine Zunge ist von einer mächtigen Moräne bedeckt und ist von Bändern umsäumt. (21. VII. 10.)

13. Nördlich folgt der Louis Meyer-Gletscher, der wieder bis zum Meer strömt und von ihm unterspült wird (Figur 14). Er empfängt noch zwei Talgletscher und einen Hängegletscher von rechts, desgleichen Nebengletscher von links.

An der rechten Seite wird der Gletscher von einer gewaltigen Moräne begleitet, die fast ganz aus Gneis, weniger aus Hekla Hookgesteinen besteht. Sie enthält meist grobe Blöcke und wenig feines Material. Ihre unteren, also nahe dem Ende am Fjord gelegene Teile, haben Längsrinnen und Längsspalten, während der Gletscher daneben Spalten hat, die talabwärts mit der Moräne konvergieren. Zwischen Moräne und Gletscher liegt ein ca. 20 m tiefes Tal, in dem ein Bach fließt. Der Rand des Gletschers daneben ist sehr schmutzig.

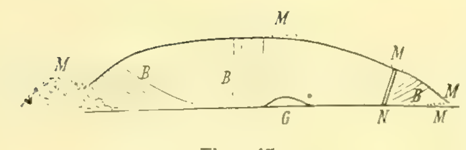
Die vordere Steilwand des Gletschers hat unten im Meeresniveau eine Kehle, in welcher unter dem Eise an den beiden Seiten des Gletschers Grundmoräne sichtbar ist. An mehreren Stellen ist die Kehle zu Grotten vertieft,

darunter zu einer sehr großen etwa in der Mitte des Gletschers, in der viele Vögel waren, sodaß man wohl auch hier den Austritt frischen Wassers unter dem Eise vermuten kann (Figur 15). Auf der Oberfläche des Gletschers gerade über der Grotte lag eine Mittelmoräne, unter der jedoch kein vertikaler dunkler Streifen in der Eiswand gesehen wurde, wie es bei anderen Gletschern der Fall war. Ein



A Miethe phot.

Fig. 14.
Louis Meyer-Gletscher in der Möller-Bai.



Figur 15.
B Bänderung. G Grotte. M Moräne. N Naht.

solcher Streifen N lag im Louis Meyer weiter südlich, schon nahe der linken Seite. Die Bänderung steht in der Mitte steil, an den Seiten gegen die Mitte hin flach geneigt. (21., 22., 23., 25. VII. 10.)

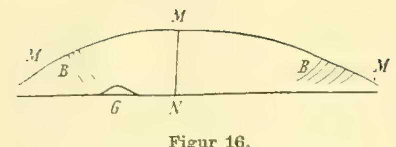
Auf dem Louis Meyer-Gletscher wurden gleichzeitig von H. Hergesell und mir Messungen der Bewegungsgeschwindigkeit des Eises vorgenommen, und zwar an den Punkten I und II, die auf der Gletscheroberfläche in der Talrichtung hintereinander, etwa 38 m voneinander entfernt und beide etwa 100 m von dem rechten Rand des Gletschers ablagen, nicht mehr auf dessen seitlichem Abfall, sondern schon auf der Höhe in einem stark zerklüftetem Gebiet. I lag ca. 250 m und II ca. 210 m von der vorderen Steilwand entfernt; die Punkte gehörten also der Zunge des Gletschers an. Ihre Markierung, sowie die von Basispunkten auf der rechten Seitenmoräne, durch Stangen, die in Steinpyramiden befestigt waren, hatte S. K. H. Prinz Heinrich durch wiederholte Begehungen in dankenswerter Weise ausgeführt.

Die Messungen erfolgten von den Endpunkten A und S einer Basis aus, die auf dem untersten Teil der rechten Moräne lag und 149,5 m lang war. Ihre Länge war mit Hilfe einer 9,96 m langen Hilfsbasis S R gewonnen worden, die von S aus ungefähr senkrecht zur Richtung der Hauptbasis S A mit einem Stahlbandmaß gemessen worden war. Aus ihrer Länge und aus den Messungen aller drei Winkel des Dreiecks ASR wurde die Länge der Hauptbasis gewonnen.

Die Positionen der Eispunkte I und II wurden am 22. und am 25. VII. 10. aus der Länge der Hauptbasis und aus den Winkeln zwischen ihrer Richtung und den Richtungen nach I und II von A und S aus abgeleitet. Die Differenz der an den beiden Messungstagen gefundenen Positionen ergibt die Größe der Bewegung in dieser Zeit. Nach meinen Messungen hat sich I innerhalb der drei Tage um 0,46 m und II um 0,68 m talabwärts bewegt, ersterer Punkt also um 15 cm und letzterer um 23 cm pro Tag, der tiefer gelegene Punkt mithin scheinbar etwas schneller. Auf diese Differenz ist aber kein Gewicht zu legen, da sie innerhalb der Messungsfehler liegt. Man wird eher das Resultat für den einen Punkt als Kontrolle des Resultats für den anderen auffassen und somit annehmen dürfen, daß dieses Gebiet des Gletschers etwa 20 cm pro Tag strömt.

Diese Geschwindigkeit ist gering, wenn man sie mit Bewegungsgeschwindigkeiten in den Eisströmen Grönlands vergleicht, die in ähnlich gelegenen Teilen bis zu 20 m pro Tag betragen. Der am L. Meyer gefundene Betrag geht kaum über die Größe der möglichen Fehler hinaus; er dürfte aber reell sein, da er bei beiden Punkten wiederkehrt und auch den sonstigen Erfahrungen über die Geschwindigkeit der Spitzbergengletscher, z. B. des Lilliehook (siehe A. Hoel, l. c., p. 20) entspricht. Der Unterschied gegen Grönland erklärt sich teilweise dadurch, daß die Grönlandgletscher erst in tiefem Wasser endigen, die Spitzbergengletscher wie der L. Meyer und viele andere dagegen schon, wenn sie das Meer erreichen; sie tauchen nicht ein, sondern werden nur unterspült. Vor allem liegt der Grund aber darin, daß die Grönlandgletscher viel dicker und die Abflüsse viel größerer Nährgebiete sind, als die Spitzbergengletscher.

14. Der Koller-Gletscher, welcher auf den Louis Meyer im Norden folgt, mündet im Hintergrund der nordöstlichen Verzweigung der Möller-Bai, die Koller-Bai heißt, östlich vom Prinz Olav-Felsen, der den Hintergrund der Möller-Bai teilt. Der Gletscher endigt auch mit einer Steilwand, die ein dunkler Streifen von einer Mittelmoräne an der Oberfläche aus bis zum Boden vertikal durchsetzt (Figur 16). Die beiden Seiten der Gletscheroberfläche sind



Figur 16.
B Bänderung. G Grotte. M Moräne.
N Naht (dunkler Streifen).

stark mit Schutt bedeckt. Die Bänder stehen an beiden Seiten ziemlich steil und haben nur geringe Neigung gegen bis Mitte des Gletschers hin. Zwischen dem dunklen Streifen und der rechten Gletscherseite ist in der Steilwand unten in der Wasserlinie eine große Grotte. (23.VII.10.)

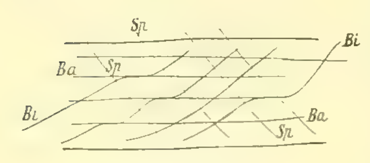
15. In die beiden anderen Verzweigungen des Hintergrundes der Kreuz-Bai, also in den Möller-Hafen und in die Lilliehook-Bai, welche durch die König Haakon Halbinsel von einander getrennt sind, mündet das System des gewaltigen Lilliehook-Gletschers und zwar in die Lilliehook-Bai dieser selbst und in den Möller Hafen der Supan-Gletscher, der jedoch nichts anders ist, als der letzte Seitengletscher des Lilliehook von Osten her. Er vereinigt sich mit dem Lilliehook und bildet an der Vereinigungslinie eine in der Richtung des Supan-Gletschers südwestlich fortziehende Mittelmoräne. Die vereinigten Eismassen werden dann jedoch teilweise durch das nördliche Ende der Haakon-Halbinsel von der Lilliehook-Bai abgesperrt und dem Möller-Hafen zugelenkt, sodaß der vom Supan-Gletscher herrührende Teil des vereinigten Eises, von einer gewaltigen Moräne umkränzt, am Möller-Hafen endigt, und dazu noch ein kleiner Teil des Lilliehook-Eises selbst. Der Endmoränenkranz geht in die soeben erwähnte Seitenmoräne über. Der Supan-Gletscher ist also ein Tributär des Lilliehook und erlangt am Ende nur dadurch eine größere Selbständigkeit als dessen andere Tributäre, daß die Haakon-Halbinsel aus der vereinigten Lilliehook Masse fast ausschließlich das Supan-Eis zum Möller-Hafen hinlenkt. Der Supan-Gletscher endigt nicht im Meer, sondern noch eine Strecke vom Meer entfernt, mit einer schmutzigen, schuttreichen Wölbung auf niedrigem Schuttland, in welchem Sümpfe und Seen den Eisrand begleiten, die in vielen Ästen zum Möller-Hafen abfließen.

Der Lilliehook-Gletscher endigt, ausschließlich seiner eben erwähnten Teile, in der Lilliehook-Bai mit einer Steilwand, in der unten im Meeresniveau eine Kehle eingeschnitten ist. An zwei Stellen in der Mitte des Gletschers war diese unterbrochen und zwar dadurch, daß sich die betreffenden Stellen gesenkt hatten, wie man deutlich erkannte, sodaß die Kehle dort unter Wasser lag. Eine von diesen Stellen sank vor unseren Augen weiter nieder, zerbrach dabei in große und viele kleine Blöcke und in unendlich viele Trümmer, die sich wie Eisstaub auf der Fjordoberfläche ausbreiteten. Es war eine Kalbung, die sichtlich durch Niederbrechen eines unterspülten Randteiles stattfand. Sie rührte auch das Bodenwasser auf, denn der Fjord wurde weithin ganz gelb.

An der frischen Eiswand, die durch den Abbruch freigelegt war, wurde horizontale Bänderung sichtbar. Weiter nach der rechten (westlichen) Seite des Gletschers sah ich in der Steilwand vertikale Bänderung, doch nirgends ein Durchdringen beider Bandsysteme. Auf der Oberfläche des Gletschers sah ich steilstehende, talabwärts streichende Bänder etwa in der Mitte des Gletschers in einer Senke, in der Wasser auf dem Eis stand und auch Spalten erfüllte. Diese waren also unten geschlossen und das betreffende Eisgebiet augenscheinlich gepreßt. Auf einem Hügel der Eisoberfläche, nicht weit von der Senke, klafften die Spalten dagegen weit, eine mindestens 10 m, und hatten keine Wasserfüllung.

In der Steilwand ist unten eine große Grotte, in welcher Strom beobachtet wurde, da sich Eisstücke darin lebhaft bewegten und auch ein Boot, das heran fuhr, stark abgetrieben wurde. Das Wasser in der Grotte war sehr schlammig, ebenso wie in der roten Grotte des Königs-Gletschers.

An der rechten Seite des Lilliehook liegen starke Moränen, teils schon vom Gletscher getrennt, teils noch in seinem Rand. Dort sah ich auch die gleiche Durchdringung zweier Bandsysteme, wie am Nebengletscher des Louis Tinayre (Figur 17). Ich fasse das als Rückzugserscheinung auf, indem innere Ablation und Schuttanreicherung so bedeutend sind, daß das Eis sich nicht mehr längst der horizontalen Flächen Ba verschieben kann, sondern an den geneigten Bi über die Schuttstauungen der ersteren hinweg.



Figur 17.
Ba alte Bänder. Bi junge Bänder.
Sp Spaltbänder.

Von Interesse war, daß die geneigten Bänder Bi sprungweise von einem horizontalen Ba zum anderen übersetzten (Figur 17). Die Austritte dieser Bänder an der Seite waren eingetieft, sodaß man diesen dort wie auf Stufen erstieg. Beide Bandsysteme wurden von Spaltbändern Sp durchkreuzt, also von geschlossenen Spalten, wie man an der matten Nahtfläche in der Mitte dieser Bänder erkannte. Auf der Oberfläche des Lilliehook-Gletschers lag in 100 m Höhe noch viel Schnee (31. VII. 10.) in Vertiefungen und Spalten, dürfte sich dort auch den ganzen Sommer halten und so zur Ernährung des Gletschers beitragen. An den Felsspitzen rings herum sieht man Eis und Schnee dagegen mit Schmelzkehlen absetzen (Figur 18), wie sie sich unterhalb der Schneegrenze zu bilden pflegen. Wenn der Schnee dort im Sommer liegen bliebe, würden sich keine derartigen Kehlen bilden. Hienach glaube ich, daß die Schneegrenze auf den Felsen mindestens 300 m hoch, auf dem Eise aber unter 100 m Höhe liegt.



Figur 18.
Schmelzkehlen zwischen Felsspitzen F und Schnee S.

Der Lilliehook-Gletscher ist mühelos zu begehen; wenn man die Nähe der vordern Steilwand vermeidet, kann man gut im Bogen um das Nordende der Haakon-Halbinsel herum von der Lilliehook- zur Möller-Bai kommen. Man muß auf der Westseite des Lilliehook-Gletschers aufsteigen.

Von der Mitte der Gletscheroberfläche hat man einen grandiosen Rundblick. Ich zählte dort 16 größere und viele kleinere Gletscher, die in den Talzug, der die Lilliehook- und Möller-Bai nach Norden fortsetzt, zusammenströmen. Sie füllen diesen gewaltig, sodaß das Eis sich darin drängen und preßen muß, was auch die erwähnte steile Bandstellung erklären dürfte. Der Lilliehook-Gletscher ist ein typisches Beispiel eines voll vereisten Talzuges, der sein Eis aus den verschiedenartigsten Nährgebieten und auch noch unten empfängt. Es ist ein Paralleltal zu dem schon erwähnten Talzug an der Westgrenze des Devons, in welchem die Rote Bai, der Monaco-Gletscher, das Isachsen-Plateau und der Drei Kronen-Gletscher liegen. (21. und 31. VII. 10.)

16. An der Westseite der Lilliehook- und Kreuz-Bai haben wir keine großen Talgletscher, wohl aber kleinere Gletscherbildungen, die meist in starken Moränen endigen, bevor sie das Meer erreichen.

So ist die Signe-Bai von einem heute unvereisten tiefen Talzug fortgesetzt, in dem man in 4—5 Stunden von der Lilliehook-Bai zur Aussenküste gehen kann, ohne Gletscher zu überschreiten, die von beiden Seiten wohl hineinströmen, sich im Tale aber nicht zusammenschließen. Im Tal liegen einige Seen.

Die nähere Umgebung der Signe-Bai ist niedrig. Man sieht dort Rundhöcker von Hekla Hookgesteinen mit tiefen Schrammen; der Talzug war also früher von Eis durchströmt. In einer Kluft eines Rundhöckers fand ich plattige Schieferstücke in vertikaler Stellung, die dort hineingezwängt und nicht an Ort und Stelle losgewittert waren. Der Rundköcker war von Klüften durchzogen, die quer zu seiner Längsrichtung liefen. An ihnen waren benachbarte Teile des Felsens ein wenig gegeneinander verworfen, und zwar erst nach der Eiszeit, da die Schrammen des einen Teiles sich im benachbarten jenseits der Kluft erst in tieferer Lage wiederfanden. In den Schrammen lagen neben Stücken des anstehenden Hekla Hookfelsens auch Urgesteine und Sandsteinstücke, die durch das Eis von fern hergebracht waren und die Schrammen gebildet haben werden. (21. VII. 10.)

17. Der Hintergrund der Ebeltoft-Bai hat drei Kar- und einen Hängegletscher. Letzterer ist der nördlichste. Zwischen den beiden südlichen Kargletschern ist ein eisfreies Tal. Schnee liegt bis zum Meer hinab, auch noch in der heutigen Strandlinie. Die Karböden liegen in geringer Höhe.

Die nähere Umgebung der Ebeltoft-Bai ist niedrig und mit eckigem Schutt bedeckt, der aus den anstehenden Hekla Hook-Felsen auswittert. Dazwischen finden sich auch Sandsteinstücke, die hinter der Bai auf den Höhen der Abhänge anstehen. Auch einzelne Geschiebe aus Urgestein liegen umher. Die Vertiefungen im Schutt sind versumpft. Ein Rundhöcker aus Hekla Hook ist stark verwittert und zerfallen, läßt durch seine Form aber doch erkennen, daß er früher von Eis überströmt war. (21. VII. 10.)

18. Die Ostseite der Haakon-Halbinsel hatte viele Schneerunsen in allen Höhenlagen. Sie ziehen bald von ganz oben herab bis zur Mitte, bald von der Mitte bis unten, bald dazwischen.

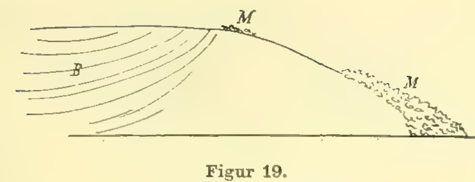
Sie hat auch zwei Kargletscher mit Schnee bedeckter Oberfläche, die wie angeklemmt an die Felswand aussehen (Fig. 7, p. 21). Offenbar sind die Kare nur flach. Ihre Gletscher werden durch Schneerunsen von oben her ernährt, doch mehr noch durch den Schnee, der auf ihrer Oberfläche selbst liegen bleibt. Ihre Enden brechen steil ab. Die Abbrüche sind von Bändern, die parallel zum Boden laufen, umsäumt. Der nördliche Kargletscher war noch vor kurzer Zeit länger; man sieht seine früheren Umrisse durch Einkerbungen in den Felsen markiert, in denen Schnee liegen bleibt (Fig. 7, p. 21).

Das Nordende der Haakon-Kette hat auch zwei Schartengletscher, die zur Möller-Bai und zur Lilliehook-Bai herabhängen. Beide sind in den unteren Teilen schneefrei und sehr schuttreich; davor liegen auch noch starke Moränen. Ihre Enden sind von Bändern parallel zum Boden umsäumt. Diese Gletscher sind mühelos zu überschreiten, indem man auf ihnen gut von der Lilliehook- zur Möller-Bai kommt. Auf einem wurden oben frische Eisbär-Spuren und -Exkremente mit Vogelknochen gefunden. Es spricht für die gute Gangbarkeit dieser Gletscher, daß der Bär dort herüber kommt. (20. und 24. VII. 10.)

E. Die Gletscher nördlich von der Kreuz-Bai bis zur Magdalena-Bai.

19. An der Aussenküste nördlich von der Kreuz-Bai münden die sogenannten sieben Gletscher. Der erste von Süden liegt nördlich des eisfreien Tals, das von der Signe-Bai hinüberführt. Er hat auf beiden Seiten gewaltige Moränen und ist augenscheinlich im Rückgang. Er endigt, noch bevor er das Meer erreicht, mit einer Steilwand. Die Bänder fallen in dieser ziemlich steil von beiden Seiten gegen die Mitte hin ein.

Der zweite hat an seiner linken Seite Bänder, die zuerst gegen die Mitte einfallen, dann aber horizontal werden (Figur 19). In der Mitte liegen sie durchweg



Figur 19.
B Bänderung. M Moräne.

bis zur Oberfläche horizontal. Er endigt auf Land mit einer steilen Wölbung dicht vor dem Meer (Querschnitt Figur 19). Man sieht unter ihm Grundmoräne, die aus Blöcken besteht, und zwar wesentlich aus Urgesteinsblöcken. (30. VII. 10.)

Der dritte Gletscher endigt mit einer starken Moräne vor dem Meer, der vierte am Meer. Dann kommt ein kleiner Schartengletscher, der weiter vom Meer entfernt endigt. Der fünfte Gletscher ist ein enger Talgletscher, der bis ans Meer geht, der sechste ist sehr breit, sammelt sich aus zwei Ästen und strömt bis ans Meer. Der siebente Gletscher ist schmaler und endigt am Meer. Dann folgten dort, wo die Küste sich nordwestlich wendet, zwei kleinere Gletscher, die sich vereinigen und dann in starker Moräne endigen, bevor sie das Meer erreichen. Der Hamburger Hafen ist eine weiteingreifende Bucht, in deren Hintergrund man Eis sieht.



A. Miethe phot.

Figur 20.
Steilwand des Adams-Gletschers.

In der Magdalena-Bai mündet der gewaltige Waggonway-Gletscher hinten mit einer Steilwand. Er empfängt vorher von rechts und links noch je einen Nebengletscher. An der Südseite der Bai münden außer kleineren, die vor dem Ufer in Moräne ersticken, der Gully- und der Adams-Gletscher. Das Tal des letzteren verengt sich etwas gegen das Meer hin und mag es darauf zurück-

zuführen sein, daß man in seiner Steilwand am Meer deutliche Bandfaltungen sieht (Figur 20). Sein Ende wird seitlich zusammengedrückt.

Die Nordseite der Bai hat einen Gletscher, der bis ans Meer geht und einen, der vorher in sehr starken Moränen endigt. (1. und 2. VIII. 10.)

G. Die Gletscher um den Smerenburg-Sund.

20. Die Außenküste der Däneninsel ist nicht vereist, wohl aber stark durchtalt. Ihre Südseite ist vollständig geschliffen, desgleichen die kleinen Inseln davor. Das Eis reichte also früher weiter hinaus. Die Ostseite der Däneninsel hat kleine Hängegletscher ähnlich denen der Haakon-Halbinsel. (1. und 3. VIII. 10.)

Der große Smerenburg-Gletscher endigt am Meer. An seiner linken Seite schmelzen mehrere Moränen aus. Unweit derselben ist in der Steilwand eine große Grotte, über welcher das Eis sehr zerbrochen ist. Im letzten Viertel der Gletscherbreite nach rechts liegen mehrere Moränen, die man bis zum Talhintergrund verfolgen kann. (3. VIII. 10.)

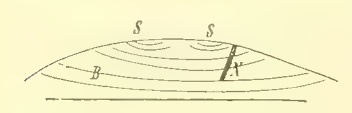
Die Amsterdam-Insel hat an der Ostseite Gletscher, an der Westseite nicht. (1. und 3. VIII. 10.) Wenig oder kein Eis hat Vogelsang-Eiland, Cloven Cliff und die Norwegischen Inseln (7. VIII. 10), doch scheinen alle diese Inseln bis oben hin Schliffe zu haben. (4. VIII. 10.)

H. Die Gletscher der roten Bai und östlich davon.

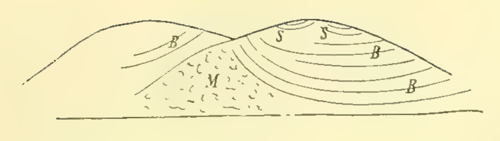
21. Die Rote Bai ist im Hintergrund durch eine weit vorspringende Halbinsel zweigeteilt. In beiden Teilen münden hinten Gletscher, die südlich von der Halbinsel vereint waren und sich erst durch diese teilen. An der Ostseite der Bai zählte ich zehn Gletscher, die alle das Meer nicht erreichen, sondern lange vorher in starken Moränen endigen.

An der Westseite der roten Bai zählte ich neun Gletscher.

Der erste dieser von Süden geht mit der rechten Hälfte bis ans Meer, während die linke vorher in einer gewaltigen Moräne erstickt. Der zweite endigt auf dem Abhang vor dem Meer in Moränen. Der dritte hat eine Steilwand am Meer und darin eine ganze Grotte. Der vierte endigt auf dem Abhang in Moränen. Der fünfte endigt mit einer Steilwand am Meer (Querschnitt Figur 21). Er hat horizontale Bänderung bis oben, auch in der Mitte, und in seiner linken Hälfte eine Naht, durch welche die Bänder hindurchstreichen. Auf seiner Oberfläche liegt noch Schnee. (4. VIII. 10.) Der sechste Gletscher endigt auf dem Abhang in Moränen, der siebente am Meer mit einer Steilwand, in der vier Grotten liegen. Über einer Grotte sieht man an der Oberfläche ein



Figur 21.
B Bänderung. S Schneeschichtung. N Naht.



Figur 22.
B Bänderung. M Moräne. S Schneeschichtung.

Strudelloch. Der achte endigt hinten am Abhang. Der neunte, nördlichste Gletscher, ist ein Doppelgletscher (Querschnitt Figur 22). Die linke Seite seines rechten Armes liegt zum Teil noch auf der rechten Hälfte des linken. Beide Arme endigen mit einer Steilwand am Meer, in welcher man bis zur Oberfläche hin flache Bänderung sieht. Die Bänder treten an den Wölbungen der Oberfläche aus.

Man sieht auch Stellen mit gebogenen Bändern, und zwar in den höheren Teilen der Steilwand, während die Lagerung in den unteren flach ist. An anderen Stellen gehen flache Bänder plötzlich in gebogene über. Auch Durchkreuzungen habe ich gesehen, ferner steile Bandstellungen zwischen flachen. Ähnliches sah ich schon an Gletschern der Magdalena-Bai. Dieser neunte Gletscher hat unten grünen, oben roten Schutt. (4. und 7. VIII. 10.)

22. Östlich von den roten Sandsteinfelsen, die das Ostufer der Roten Bai begleiten, liegt ein Glimmerschieferzug mit vielen Tälern und Scharten. Er enthält eine Menge von Schnee- und Eisbildungen, welche auch die Gletscher ernähren, die an der Ostseite der Roten Bai zwischen den eisfreien Sandsteinfelsen in starken Moränen endigen.

Östlich von diesem Zuge folgt ein rotes Sandsteinplateau, das wenig durchtalt und wenig geschartet ist. Es hat oben einzelne Schneeflecke, doch kein zusammenhängendes Eis.

In der Ferne sieht man Neu Friesland mit zusammenhängender Eiskappe, aus der nur einzelne dunkle Felskanten und Ecken hervorragen. Die Eiskappe hielten wir zuerst für eine Nebelbank, erkannten dann aber diesen Irrtum. Von ihr strömen einzelne steile Gletscher zum Meer herab. (7. VIII. 10.)

VI. Einige zusammenfassende Ergebnisse über die Vereisung Spitzbergens.

Die Ergebnisse meiner Beobachtungen und Studien über die Gletscher Spitzbergens habe ich teilweise schon im vierten Abschnitt zusammengefaßt, indem ich die Eisbildungen des Landes klassifizierte und nach Auftreten und Entwicklung mit den Landformen in Beziehung setzte. Ich mußte diese Klassifikation vorausstellen, ehe ich die Einzelbeobachtungen brachte, weil es zweckmäßig war, mich bei Mitteilung dieser schon darauf zu beziehen.

Im folgenden seien nun noch einzelne Erscheinungen zusammenfassend betrachtet, die bei den Spitzbergengletschern auffielen; zum Belege verweise ich auf die Originalbeobachtungen des vorhergehenden Abschnittes V.

1. Die Spitzbergengletscher sind heute überwiegend im Rückgang. Es liegen darüber direkte Beobachtungen vor, und fast allgemein erkennt man es auch an den starken Moränen, die ihre Seiten begleiten — teils vom Gletscher ganz abgetrennt, teils noch auf dem Eis — und ihre Zungen verhüllen. Derartige Anreicherungen von Gletscherschutt, wie sie im fünften Abschnitt im einzelnen beschrieben wurden, sind nur verständlich, wenn die Eismenge nicht mehr genügt, um die Bewegung so zu erhalten, daß sie den Schutt fortschaffen kann, wenn das Eis im Rückgang ist.

Im besonderen sah man diesen Vorgang am letzten linken Seitengletscher des Louis Tinayre p. 33 und am Lilliehook p. 38 durch die beiden sich kreuzenden Bandsysteme bekundet. In beiden war der Schutt infolge Schwindens des Eises stellenweise so angereichert, daß die Bewegung an den betreffenden Stellen ganz aufhörte und das nachdrängende Eis sich über diese toten Gebiete hinüberschob.

Einen Vorstoß des Eises konnte ich aus meinen Beobachtungen nur für eine Stelle folgern, nämlich für den Louis Tinayre selbst, da dieser heute mit seinem letzten linken Nebengletscher zusammenfließt (p. 33), währen die Karte des Fürsten von Monaco nach Isachsens Aufnahmen 1906 und 07 beide getrennt endigen läßt. Ob dieser Vorstoß aber wirklich besteht, oder ob vielleicht nur die Karte ungenau ist, muß ich unentschieden lassen. Die linke Seite des Nebengletschers zeigt Rückzugserscheinungen, wie ich erwähnte, und beim Louis Tinayre habe ich sonst auch keine Spuren von einem Vorstoß gesehen. Das würde eine Ungenauigkeit der Karte vermuten lassen. Andererseits ist es aber möglich, daß der Rückgang der linken Seite des Nebengletschers und die dort beobachteten Stauungen sein Eis jetzt nach rechts und somit zur Vereinigung mit dem Louis Tinayre gedrängt haben. Dann wäre die Karte richtig und mit den heutigen Verhältnissen in Einklang, weil der Nebengletscher dann letzthin eine andere Bewegungsrichtung gehabt hätte, infolge deren er nach rechts vorstieß, während er links zurückging. Diese Lösung ist denkbar.

Während auch A. Hoel den obigen Ergebnissen entsprechend für alle Gletscher von der Englischen Bai (am Vorland-Sund südlich von der Königs-Bai) bis Smerenburg Rückgang oder höchstens Stillstand konstatiert, gibt G. de Geer für das Eisfjordgebiet davon etwas abweichende Nachrichten, nämlich über Oscillationen benachbarter Gletscher in verschiedenem Sinne. Danach gehen der von Postgletscher und der Nordenskjöldgletscher zurück, was ich nach dem Aussehen ihrer Moränen auch annehmen möchte, während

bei beiden ein Nebengletscher vorrückt. Ferner stieß der Sefström 1882 bis 1896 vor und ging 1896—1908 zurück, während der benachbarte Wahlenberg sich gerade umgekehrt verhielt. Desgleichen hat der ebenfalls benachbarte Svea und der Nebengletscher des Sefström einen Vorstoß gehabt, während dieser sich zurückzog.

Die Gründe dieser interessanten Tatsachen werden von de Geer nicht näher erörtert. Ich kenne aus dem Umanakfjord in Grönland ähnliche Vorgänge, da hier z. B. der Sermiarsut zurückging, während der dicht benachbarte Asakak vorstieß. Der Grund lag darin, daß zu dem letzteren im Hintergrunde gewaltige Eislawinen niedergegangen waren, die das beide gemeinsam ernährende Hochlandeis so geschwächt haben können, daß der Sermiarsut nun zu wenig gespeist wurde und sich zurückzog. Ob ähnliche Verhältnisse in Spitzbergen vorliegen, habe ich nicht gesehen, doch liegt es nahe, daran zu denken, da z. B. Sefström, Svea und Wahlenberggletscher aus einem gemeinsamen Nährgebiet gespeist werden. Wie dem auch sei, sicher können lokale Verhältnisse auch lokale Oscillationen bewirken. Aber die vorhin festgestellte Tatsache, daß die Gletscher Spitzbergens im allgemeinen heute zurückgehen, wird dadurch nicht berührt; sie folgt aus den Beobachtungen über die Entwicklung der Moränen und der Eisstrukturen, die ich beschrieb.

2. In der Vorzeit war die Vereisung Spitzbergens größer als heute. Man findet Rundhöcker, Schliffe und Geschiebe bis zur Außenküste und auch auf den Inseln, die vor oder innerhalb der Baien liegen, wie die Loven-Inseln, die Insel Kohn und andere. Man darf hieraus schließen, daß die Gletscher früher alle Fjorde und Baien durchströmt und sich bis über die Außenküste hinaus bewegt haben. Andererseits ist es ebenso sicher, daß die Eiszeit nicht alle Höhen des Landes verhüllt hat; denn die Formenunterschiede der Berge oben und unten sind beträchtlich. Jene sind tief verwittert, eckig und scharf, diese geschliffen, gerundet, poliert und weit weniger verwittert. Besonders der Unterschied im Grade der Verwitterung oben und unten ist bedeutend. Für die Gebiete der Kreuz- und der Königs-Bai möchte ich es deshalb für sicher halten, daß die Höhen auch in der Eiszeit aus dem Eise hervorragten und ihre Verwitterung, anders als die der tiefer gelegenen Gebiete, schon praeglazial ist.

Bis zu welcher Höhe die Eiszeit gestanden hat, wäre im einzelnen zu untersuchen. A. Hoel gibt an, daß die erratischen Blöcke sich im Eisfjordgebiet bis zu den Gipfeln finden, in der Kreuz-Bai dagegen nur bis etwa 350 m Höhe. Es wäre verständlich, wenn ersteres früher stärker vereist war, wie diese;

denn wenn die dortigen hohen Flächen sich überhaupt mit Eis überziehen können, entsteht bald eine viel größere Vereisung als heute, wo sie ihrer Schutzlosigkeit wegen frei sind, während die zerrissenen Formen der Hekla Hook-Gebiete nicht allzuviel mehr Eis fassen können, als sie heute enthalten. Weitere Untersuchungen hierüber wären von Interesse. Einzelheiten habe ich im fünften Abschnitt berichtet.

Für eine wiederholte frühere Vereisung, also für die Annahme mehrerer Eiszeiten, habe ich keine Anhaltspunkte gefunden. Dagegen wird von de Geer bewiesen, daß der Rückzug des Eises nach der Eiszeit etwas weiter ging als bis zu dem heutigen Stand; denn man findet im Eisfjord postglaziale Meeresablagerungen in den heutigen Moränen und darf daraus schließen, daß das Meer in der Postglazialzeit weiter landeinwärts reichte als heute und dann durch einen kleinen Vorstoß des Eises wieder zurückgedrängt worden ist. Um große Oscillationen handelt es sich hierbei aber nicht. Seit der Eiszeit ist es mehr ein Pendeln der Eisränder um den heutigen Stand, das gegenwärtig im Sinne eines Rückgangs erfolgt, während zur Eiszeit selbst der Vorstoß weit über die heutigen Grenzen hinausging.

3. Dem gegenwärtigen Rückgang der Vereisung entspricht es, daß ein Teil der Gletscher innerhalb gewaltiger Moränen endigt. Dieses ist bei den meisten der Fall, deren Zungen auf dem Lande liegen, nicht bei denen, die im Meer endigen. Außerdem haben erstere in der Regel gewölbte Zungen, letztere Steilwände.

Dieser Unterschied ist leicht zu verstehen. Die Ersteren tragen ihren Schutt bis zu ihrem jeweiligen Ende, schmelzen dort zusammen und häufen den mitgebrachten Schutt auf, der sich dann je nach der Größe seiner Bestandteile mehr oder weniger steil abböscht und die Enden der Gletscher verhüllt. Wo die Gletscher dagegen im Meer endigen und unterspült werden, brechen die oberen Teile herunter und treiben davon, mit dem Schutt, den sie trugen, so daß es hier zu keinen Anhäufungen kommt. Am Gletscherende bleiben dann frische meist steile Bruchwände zurück, die nun unterspült werden u. s. f.

4. Ein tiefes Eintauchen der Gletscherzungen ins Meer, wie es die Eisströme Grönlands tun, ist in Spitzbergen wohl selten. Mehrfach konnte ich beobachten, daß das Meer gerade den Fuß der Gletscher unterspült und seine Kehlen zwischen dem Boden und dem Eise einfrißt, nicht aber in die Eiswände selbst einschneidet. Die Steilwände stellen dann die ganze

Dicke der Gletscher dar, und es liegen nicht, wie in Grönland, beträchtliche oder gar die größten Teile der Gletscherdicke noch unter dem Meeresniveau.

5. Infolge dieser Verhältnisse finden in Spitzbergen keine großen Eisbergbildungen statt. In der Regel stürzen nur unterspülte Teile von oben herunter, wie es von uns mehrfach beobachtet ist, während die großen Eisbergbildungen Grönlands so vorgehen, daß tief eintauchende Zungen durch den Auftrieb des Wassers gehoben werden und in ihrer ganzen Dicke abbrechen. Die niederstürzenden Teile zerbrechen in Blöcke, Trümmer und Staub.

So sieht man große Eisberge in Spitzbergen selten. De Geer sagt vom Nordenskjöld-Gletscher der Klaas Billen Bai, daß er größere Berge bildet, und ich möchte es außerdem von dem Königs-Gletscher anführen. Vor ersterem trafen wir einen schwimmenden Berg von etwa 5 m Höhe über dem Meeresniveau und vor letzterem noch höhere. Vom Nordenskjöld-Gletscher weiß man, daß der Fjord an seinem Rande 150 m tief ist. Der Gletscher wird also nicht nur unterspült, sondern taucht ein und das gleiche ist bei dem Königs-Gletscher möglich. Auch die Eisbergbildungen dieses letzteren erreichen jedoch nicht annähernd die Dimensionen, wie sie aus Grönland oder von der Antarktis bekannt sind. Das Spitzbergeneis ist meist nicht dick genug, um in tieferes Meer hinausströmen, eintauchen und erst dann zu Eisbergen zerbrechen zu können. Es endigt in der Regel schon, wenn es das Meer erreicht und von ihm unterspült wird.

6. Über die Ernährung der Spitzbergengletscher habe ich mich schon im vierten Abschnitt verbreitet und ausgeführt, daß Umfang und Entwicklung der heutigen Vereisung von den Schutzstellen abhängt, in denen Schnee liegen bleiben kann, also wesentlich von den Landformen und ihrer Exposition gegen die Winde. Das ergab der Vergleich der Gletscherverbreitung in den verschiedenen Bezirken. Der Schnee muß liegen bleiben und sich durch lange Zeiten ansammeln können, um den heutigen Eisbestand zu bilden.

Schon hieraus folgt, daß dieser von den momentanen Niederschlagsmengen bis zu einem gewissen Grade unabhängig ist; er ist die Folge der Schneeansammlungen längerer Zeiten. Und wenn die Gletscher heute im Allgemeinen zurückgehen, so ist das die Folge verminderter Ansammlungen von Niederschlägen seit längeren Zeiten. Ob nun die heutigen Niederschläge selbst dazu angetan sind, den Eisbestand zu vermehren oder zu vermindern, bleibt zu untersuchen. Das letztere ist wahrscheinlich, denn die meßbaren Niederschläge sind gering (135 mm pro Jahr an der schwedischen Winterstation 1882/83), und wenn auch nach de Geer die häufigen Nebel und direkte Eisniederschläge aus diesen dazu

beitragen mögen, die Gletscher zu ernähren, so dürften die Nebel doch kaum sehr erhebliche Beträge liefern, denn die Quantitäten von Niederschlägen aus Nebeln sind meist gering, auch in anderen Polargebieten. Mit dem gegenwärtigen Eisbestand hat das direkt wenig zu tun, da er aus Ansammlungen in längeren Zeiten folgt.

7. Die Geschwindigkeit der Spitzbergengletscher ist verhältnismäßig gering. Man wird den Grund hierfür in ihrer geringen Mächtigkeit sehen dürfen, und im einzelnen, in dem Rückgang ihres Eisbestandes, also in den Schuttstauungen, die dabei entstehen, ferner innerhalb der Zungen darin, daß sie nicht in tiefes Wasser eintauchen. Die Grönlandgletscher sind am geschwindesten, wo sie ins tiefe Meer hinausströmen und wo sie am mächtigsten sind.

8. Die Spitzbergengletscher zeigen stets einen Wechsel von klaren, luftarmen und weißlichen, luftreichen Lagen, also die Struktur, die man Bänderung nennt. Außerdem haben sie Spaltbänder, d. h. wieder verschlossene Spalten, die dann auch als klare Lagen zwischen weißlichem Eis erscheinen, von den eigentlichen Bändern aber daran zu unterscheiden sind, daß sie eine matte Fläche in der Mitte haben, eine matte Naht.

Die Bänderung der Spitzbergengletscher ist an ihren Seiten mehr oder weniger steil gegen die Mitte geneigt. In der Mitte liegt sie bei einigen horizontal, bei anderen steil. Steile Stellungen außerhalb der Randgebiete sind neben dunklen Streifen beobachtet worden, welche die Vereinigungsflächen zweier Gletscher darstellen und durch das Zusammenlaufen der Moränen derselben entstehen, ferner dort, wo Spalten unten zusammengepreßt waren (Lilliehook). Nach allem darf man folgern, daß die Lagerung der Bänder umso horizontaler ist, je mehr die Gletscher sich ausbreiten können, umso steiler, je mehr sie durch die Landformen oder durch die Vereinigung mehrerer Gletscher seitlich zusammengedrückt werden. Beim L. Tinayre standen Gesteinsplatten in der Richtung der Bänder.

Beim nördlichsten Gletscher der Roten Bai sah ich Bänderung aus Schneeschichtung entstehen p. 42, 43, sonst nicht. Das schließt jedoch nicht aus, daß sie auch an anderen Stellen bis zu einem gewissen Grade aus der Schneeschichtung hervorgeht. Viele Bandbildungen sind andererseits sicher entweder völlig umgewandelte Schneeschichten oder überhaupt ganz unabhängig von der Schichtung entstanden.

So kann die Verdichtung der Bänder in den untersten Lagen der Gletscher parallel zum Boden und senkrecht zur Gletscherdicke, also zur Druckrichtung, ferner die größere Klarheit und Luftarmut des Eises in den tieferen Lagen,

auch die Anordnung des Schuttes in Flächen parallel zu den Bändern meiner Ansicht nach nicht anders gedeutet werden, als daß die Schichtung, soweit sie dort überhaupt noch in den Bändern enthalten ist, diese also nicht ganz selbstständig neu entstandene Bildungen sind, eine wesentliche Umgestaltung erfahren hat, denn die Originalschichtung des Eises hat obige Merkmale nicht. Die Umgestaltung beruht auf dem Druck, da ihre Erscheinungen sich senkrecht zu dessen Richtung anordnen.

Die Umgestaltung geschieht Hand in Hand mit der Bewegung des Eises, und die Bandflächen, als diejenigen Gletschereislagen, in denen das Eismaterial klarer und luftärmer wird als es früher war, und in denen der Schutt sich ordnet, in denen also dauernde Veränderungen und Verschiebungen der Teile stattfinden, sind die Flächen, längs welchen dann auch die ganzen Eislagen sich am leichtesten aneinander verschieben können, weil in ihnen immer Bewegung der einzelnen Teile statthat. Die sich kreuzenden Bandsystemen des Lilliehook und des L. Tinayre p. 33 und 38 sprechen sehr deutlich hierfür, da an den älteren Flächen die Verschiebung der Lagen übereinander erstarb, seit durch Schuttanreicherung die Bewegung der Teile innerhalb der Lagen aufhörte. Bei diesen Gletschern dürften Verschiebungen der oberen Teile über die unteren nicht zweifelhaft sein, da die unteren infolge ihres Schuttreichtums tot sind. Hieraus darf man jedoch nicht folgern, daß obere Lagen sich ganz allgemein über untere fortbewegen, da es an anderen Stellen auch umgekehrt ist.



F. Leiber phot.

Figur 23.

Grotte in der Steilwand des Gully-Gletschers (Magdalena-Bai).

9. Grotten in der Wasserlinie der Gletscher sind häufig, wo diese vom Meer unternagt werden und Steilwände haben. Es sind teils kleinere lokale Höhlungen in größerer Zahl, die sich innerhalb der durch Unternagung der Steilwände entstandenen Kehlen dort bilden, wo das Eis durch Spalten oder sonstwie gelockert ist. Teils sind es hohe, weite und tiefe Gewölbe. (Figur 23.) Diese bilden sich dort, wo unter dem Eis Bäche austreten und stellen also deren Kanäle dar. Ich schließe das aus der Menge der Vögel, die sich in diesen Gewölben aufhalten, wohl um frisches Wasser zu suchen, beim linken Arm des Königs-Gletschers ferner aus der roten Färbung des Wassers in der Grotte, die der Färbung des nahen Gletscherseitenbaches entspricht, und beim Lilliehook aus der starken schlammreichen Strömung, die vor der Grotte beobachtet wurde. Beim L. Mayer lag die Grotte in einem sichtlich gelockerten Gletscherstreifen und könnte dort auch dem Austritt eines Baches entsprechen.

10. Schließlich möchte ich noch kurz an die Schuttformen erinnern, die wir vor den beiden westlichen Lovengletschern in der Königs-Bai sahen. Vor beiden Gletscherzungen lagen zum Meere abgedachte Kegel von Gletscherschutt. Der Bach, der aus dem Raum zwischen den beiden Gletscherzungen zum Meere eilte, hatte zwischen den beiden Schuttkegeln ein Tal geschaffen, dem nun die aus den Gletscherzungen strömenden Wasser in vielen Ästen zustrebten. Diese hatten die Kegel in längliche Hügel aufgelöst. Ich hatte zunächt den Eindruck von Drumlins, d. h. eines radial gestellten Systems länglicher Gletscherschutthügel, sah dann aber, daß die Hügelform und Anordnung der Verteilung der Bäche entsprach, die dem Mittelbach zuströmten. Bei anderem Lauf der Bäche, radial auseinander, wäre es möglich, daß in gleicher Weise, also lediglich durch Bacherosion im Gletscherschutt ein Drumlinsystem entstünde.

VII. Die Vorländer Spitzbergens.

Neben den im dritten Abschnitt behandelten Formen des Insellandes fallen fast überall an den Küsten, außen sowohl wie im Innern der Baien und Fjorde, niedrige Vorländer auf, welche die Bergketten und Hochländer unten am Meere umsäumen, und von denen sich diese mit den für sie charakteristischen Formen erheben. Die Vorländer steigen mit sehr geringer Neigung aus dem Meere empor und ebenso weiter landeinwärts bis zum Fuß der Gebirge und Hochländer.

Ihre Breite ist verschieden, so bei der Advent-Bai etwa 2 km, bei Kap Mitra und Quade Hook, zwischen denen man zur Kreuz- und Königs-Bai einfährt, 3—4 km, bei Smerenburg etwa 1 km, an anderen Stellen weniger, bis-

weilen auch mehr. Die breitesten Vorländer scheinen an Landecken zu liegen, an denen die Küsten scharfe Wendungen machen. So lag vor der Nordostecke des roten Sandsteinplateaus östlich von der roten Bai ein besonders langes Vorland, das erst bei Welcome Point endigt und in dessen Fortsetzung noch das ganz niedrige Moffen-Eiland liegt. Am schmalsten sind die Vorländer in der Regel innerhalb der Baien, wo die Küsten ohne markante Vorsprünge und Buchten ver-



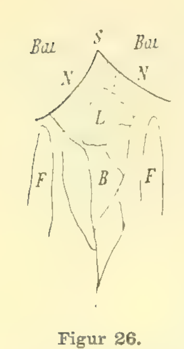
M. Reich phot.

Figur 24.
Smerenburg-Vorland.

laufen. In diesem Falle dachen sie sich nur einseitig allmählich zum Meere ab, bei Landecken dagegen doppelseitig zu den beiden Küsten, welche die Landecke bilden, und haben dann in der Mittellinie eine Firstkante, an der sich die beiden Abdachungen unter stumpfem Winkel schneiden.

Wo ich diese Vorländer begangen habe, bestanden sie stets aus anstehendem Fels. Nur Buchten in deren Saum sind mit Schwemmland erfüllt. Sehr häufig sind vorspringende feste Teile der Vorländer durch Nehrungen verbunden (Figur 25), hinter denen Frischwasser-Lagunen liegen, z. B. am Ostufer der Roten Bai und bei Smerenburg. Strömungen und Wellen des Meeres bilden diese Nehrungen zwischen den Felsen. An der Außenküste zwischen Kap Mitra und dem ersten der sieben Gletscher ist der Felssaum des Vorlandes vom Meer durchbrochen, so daß dieses selbst La-

Figur 25.
F Fels. B Bach. L Lagune. N Nehrung



Figur 26.
B Bach. F Fels.
L Lagune. N Nehrung (Haken).

gunen in den Vertiefungen dahinter füllt. Am Südufer der Königs-Bai spannen sich die Nahrungen nicht in der üblichen flachen Bogenform zwischen Felsen, sondern wachsen, von Felsen ausgehend, hakenförmig ins Meer hinaus. Wo sich zwei Haken treffen, entseht eine Schwemmlandspitze, hinter der zwischen den Haken eine Lagune bestehen bleibt (Figur 26). Die Gletscherbäche liefern hier so reichlichen Schutt und schieben ihn ihrerseits so weit vor, daß er sich nicht ausschließlich unter dem Einfluß von Strömungen und Wellen des Meeres an der Küste verteilt und bogenförmig zwischen deren Felsen spannt, sondern von diesen hakenförmig ins Meer hinauswächst.

Wenn das Grundgerüst der Vorländer auch anstehender Fels ist, so ist ihre Oberfläche doch meist mit reichlichem Schutt bedeckt, der teils sichtlich durch Verwitterung und Zerfall aus den anstehenden Felsen hervorgeht, teils zweifellos erratisch ist, also dort hingebracht wurde. Die anstehenden Felsen sind, wo ich sie gesehen habe, gerundet und von Eis überströmt gewesen und nachher verwittert, also Rundhöcker, die nun innerhalb ihrer Verwitterungsprodukte liegen. Wo sie aus Hekla Hook-Schiefern bestehen, blättern sie auf; Urgesteine zerfallen in Blöcke, die jungen Sandsteine und Schiefer des Eisfjordgebiets in Sand, Schieferscherben und Lehm. Ich habe kein Vorland begangen, in welchem solche eluviale, also an Ort und Stelle durch Verwitterung anstehender Felsen enstandene Bildungen, nicht überreich zwischen den festem Felsen vorhanden waren.

Andererseits findet man auf den Vorländern überall auch fremdes Erraticum, so im Gebiete der Kreuz- und der Königs-Bai Gneis- und Granitgeschiebe, also Gesteine, die in der unmittelbaren Nähe nicht anstehen. Das Eis, das die Vorländer dieser Baien überströmt hat, kam darnach teilweise weiter von Nord und von Ost her. Neben solchen fremden Geschieben sieht man von Eis bearbeitete Stücke des anstehenden Gesteins, das ja auch selbst zu Rundhöckern bearbeitet ist.

Endlich findet man auf den Vorländern alte Gerölle und andere Spuren, die von Meerestätigkeit herühren. So sah ich auf dem Vorland nördlich der Signe-Bai eine vom Meer in einem Absatz angeschnittene und ausgewaschene Moräne; auf Smerenburg Vorland sah ich Strandgerölle über den heutigen Wirkungsgrenzen des Meeres. Auch ein gerolltes Bimssteinstück wurde dort gefunden, das freilich von den früheren Holländischen Bewohnern hingebracht sein könnte, falls es nicht durch den Golfstrom angeschwemmt

ist. Die Gerölle waren hier noch frisch, soweit sie im Boden lagen, und nur an ihren oberen, der Luft ausgesetzten Teilen verwittert. Nördlich von der Signe-Bai und bei Ebeltoft sah ich zum heutigen Ufer parallele Absätze über dem Meer, die von diesem früher eingenagt waren, desgleichen durch Brandung ausgeweitete und mit Strandgeröllen erfüllte Gesteinsklüfte, diese letzteren freilich nur unweit und wenig über dem heutigen Niveau. Mehrfach hatten die Glazialgeschiebe hier eine Form, als ob sie ehemals Strandgerölle gewesen wären.

Besonders möchte ich noch darauf hinweisen, daß sich deutliche Strandgerölle sowohl an der Außenküste fanden, wo die Brandung eine sehr starke ist, als auch innerhalb der Fjorde, wo sie viel schwächer ist, z. B. an den Ufern der Roten Bai und der Lilliehook-Bai, nur waren die innen gefundenen nicht so stark abgerollt wie die an der Außenküste. Dieser Vergleich bezieht sich freilich auf Funde innerhalb der heutigen Gezeitengrenzen, läßt jedoch entsprechende Rückschlüsse auch für frühere Meeresstände zu.

Aus den obigen Tatsachen folgt, daß die Vorländer niedrige Stufen im anstehenden Fels sind, welche vom Eis überströmt gewesen sind und zeitweilig auch von der Meeresbrandung bearbeitet wurden. Für das Eisfjordgebiet nahm de Geer an, daß die Vorländer durch Verwerfung entstanden seien, daß sie also bis in die Nähe des heutigen Meeresniveaus abgesunkene Landschollen darstellen. Ich kann diese Annahme für das Eisfjordgebiet nicht nachprüfen, habe jedoch im Gebiete der Kreuz und Königs Bai, sowie weiter nördlich nichts von derartigen Verwerfungen wahrnehmen können, vielmehr den Eindruck von in das anstehende Gestein eingeschnittenen Stufen gehabt. Auch glaube ich, daß die Kräfte des Meeres und des Eises vollkommen genügen, um diese Stufen zu erklären, da sich beide auf ihnen sichtlich betätigt haben.

So bleibt die Frage, welche von den beiden letzteren Kräften die Stufen angelegt, welche sie nur überarbeitet hat.

Man könnte daran denken, daß die Stufen glaziale Talböden sind, also vom Eis angelegt wurden, doch spricht ihre Größe, sowohl Breite wie Länge, dagegen. Wir kennen keine glazialen Talböden von solchen Dimensionen. Könnte man aber die glaziale Erklärung auch noch für die Stufen im Inneren der Fjorde zulassen, wo sie meistens schmäler sind und der Tal- und der früheren Strömungs-Richtung des Eises folgen, so doch sicher nicht für die Stufen der Außenküste, da sich strömendes Eis an dieser nicht entlang bewegen und entsprechende Talböden bilden konnte, sondern senkrecht zur Küste ins Meer hinaus strömen mußte.

Andererseits spricht Lage und Form der Stufen für eine Entstehung durch Abrasion der Meereswelle. Denn sie liegen alle in einem Niveau; sie erheben sich sehr allmählich vom Meeresspiegel landeinwärts; sie enthalten Absätze in Lockerboden (Moränen oder Eluvium), wie man sie heute noch am Ufer durch die Wellen gebildet sieht; sie enthalten endlich Strandgerölle.

Aus diesen Gründen halte ich die Stufen für Bildungen der Brandungswelle bei einem letzten höheren Stand des Meeres. Dieser muß vor der Eiszeit bestanden und seine Arbeit geleistet haben, denn die Stufen sind von Eis schon überströmt und bearbeitet worden. An der Lilliehook-Bai hatte ich sogar den Eindruck vom Eis überarbeiteter Strandgerölle, doch kann man sich darin täuschen. Der Meeresstand muß sich dann während der Eiszeit und gleichzeitig mit ihr zurückgezogen haben, denn an der Lilliehook-Bai liegt eine von der Brandung angeschnittene und ausgewaschene Moräne. Man wird also von einem präglazialen und noch glazialen Meeresstand sprechen müssen, der die Vorländer schuf, da sie von der Brandung angelegt und vom Eise gleichzeitig nachgestaltet wurden. Von einer interglazialen Bildung zu sprechen, wie es A. Hoel andeutet, sehe ich keinen Anlaß, auch nicht in der ausgewaschenen Moräne, da ich keine Spuren mehrfacher Vereisung dort kenne. Die erwähnte Moräne kann sehr wohl gleich nach ihrer Bildung ausgewaschen sein.

Außer diesen niedrigen Vorländern gibt es in Spitzbergen auch Strandstufen in höheren Niveaus, so nach A. Hoel an dem Rücken zwischen dem 14. Juli- und dem d'Arodes-Gletscher außer der untersten noch zwei in 40 m und in 150 m Höhe. Auf beiden hat Hoel Meeresgerölle gefunden. Ich habe sie nicht begangen, aber vom Schiff aus gesehen, daß beide in der Tat markante Stufen in dem Felsrücken sind.

Ähnlich liegen die Verhältnisse gegenüber bei Kap Mitra, in welchem ein sehr breites Vorland ausläuft. Die erst mehrere Kilometer landeinwärts sich darüber erhebenden Felsen sind noch von einer höheren, ebenfalls recht breiten Stufe umsäumt. Ihre Höhe habe ich nicht gemessen, doch könnte sie ungefähr der obigen 40 m Stufe entsprechen. Darüber fallen dort noch zwei höhere Absätze auf, doch kurz und wenig markiert, so daß man sie ohne genauere Untersuchung nicht als Stufen bezeichnen darf.

Sicher wird man in Spitzbergen noch viele derartige Bildungen finden, wie ja auch Norwegen reich daran ist, letzteres vorzugsweise ebenfalls nahe dem heutigen Meeresspiegel, doch auch darüber. Es wäre von Interesse, alle diese Stufenbildungen einer neuen vergleichenden Untersuchung zu unterziehen.

Daß Brandung diese Stufen gebildet hat, dürfte nicht zu bezweifeln sein. An der Außenküste sieht man ihre gewaltige Wirkung. Ich konnte sie an der Umgestaltung der Moränengeschiebe des zweiten der sieben Gletscher nördlich von Kap Mitra, an den Strandgeröllen auf Bären-Eiland, sowie an Unterhöhlungen und Stufenbildungen an dieser Insel (Figur 27) und an vielen anderen Stellen bewundern. Sie wirkt aber auch im Innern der Fjorde, denn die Felsen am Nordufer der Louis Tinayre-Bai waren von ihr angeschnitten



M. Reich phot.

Figur 27.
Höhlen in der Steilküste von Bären-Eiland.

und unterhöhlt. Die Steine im Hintergrunde der Lilliehook-Bai waren gerollt, und auf einer etwa 40 m hohen Stufe am Lyngenfjord in Norwegen, an der Felsnase unweit nordöstlich des Ortes Lyngen fand ich, durch eine neue Weganlage aufgeschlossen, schöne Strudellöcher und Rundungen in anstehenden Felsen. Das sind einige Beispiele, die sich leicht vermehren lassen und den Schluß stützen, daß die Meeresbrandung innen wie außen Stufen im anstehenden Fels zu bilden vermag. Welches Alter die Stufen haben, bleibt im einzelnen zu entscheiden. Für die unterste Stufe, die Vorländer Spitzbergens, habe ich die Zeit der Entstehung oben zu umgrenzen versucht.

VIII. Die Tundra Spitzbergens und ihr Bodenfluss (Solifluktion).

Die Tundra Spitzbergens kann ich natürlich nicht nach ihrer botanischen Seite behandeln, zumal das von berufener Seite zur Genüge geschehen ist. Ihre Pflanzenwelt ist klein und artenarm, erfreut jedoch an sonnigen und windgeschützten Stellen durch eine Blütenfülle und auch üppige Breite des Wuchses, wie sie in so hohen Breiten einzig dastehen dürfte. Einen Blütenteppich, wie er im Juli und August z. B. auf den sonnigen Loven-Inseln der Königs-Bai zu sehen ist oder am Westufer der Roten Bai, wo zersetztes Urgestein den Boden bildet und wo infolge der Bodenneigung zahlreiche Bäche rieseln, würde man in einem Polarlande zunächst nicht erwarten. Ich erwähnte schon, daß der Name „Rote Bai" nicht ausschließlich durch die Roten Sandsteine und Konglomerate begründet ist, die am Ostufer anstehen, sondern fast mehr noch durch den üppigen Wuchs roter Flechten, welche die Urgesteine des Westufers bekleiden.

Hiervon soll jedoch nicht die Rede sein. Wenn ich der Tundra Spitzbergens einen eigenen Abschnitt widme, will ich vielmehr wesentlich von jener Erscheinung sprechen, die heute als Bodenfluss (Solifluktion) bekannt und auch in den subantarktischen Gebieten mehrfach beschrieben worden ist. Man versteht darunter Bewegungen des Lockerbodens, sei es, daß dieser aus groben Blockmassen besteht oder aus feinen Gesteinsscherben oder aus Lehm oder Moor oder aus den Mischungen verschiedener Arten, wie es meist der Fall ist. Solche Lockerböden gleiten, wenn ein Anlaß dazu vorliegt, auf ihrer ungelockerten Unterlage, also entweder auf festem, noch ungelockertem Gestein, oder auf durch Frost und Eis erstarrten Lagen. Letzteres ist in den Polargebieten die Regel, da einerseits das Gestein tief verwittert und gelockert ist, andererseits Frost und Eis sich den ganzen Sommer hindurch schon in geringer Tiefe unter der Oberfläche halten, so daß dort zersetzter Boden wieder starr wird. Die Oberflächenlagen tauen dagegen im Sommer auf, sind dann gelockert und können über die starren unteren gleiten.

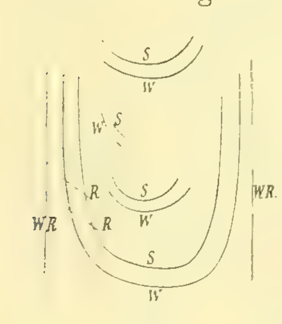
Das Gleiten des Lockerbodens kann verschiedene Ursachen haben, einmal Bodenneigungen und zweitens Änderungen in der Bodenbeschaffenheit. Ersteres ist klar, letzteres wäre dahin zu präzisieren, daß innerhalb des Bodens durch weiteren Zerfall von Gesteinen, Fortlösung oder Fortschaffung einzelner Teile, durch Gefrieren von Bodenwasser und Auftreibungen dabei (infolge Ausdehnung des Wassers beim Übergang in Eis) innere Verschiebungen der Bodenbestandteile entstehen.

Naturgemäß wird das Gleiten des Lockerbodens nicht einheitlich stattfinden, da seine Bestandteile verschieden groß und schwer sind, sondern bei den einen schneller, bei den anderen langsamer. So kommt eine gewisse Sichtung zustande, da die am schnellsten gleitenden Bestandteile den anderen vorauseilen; dabei werden sie sich mit ihresgleichen vereinigen und andere, für sich vereinigt, zurücklassen. Stößt dann eine schwerere Gruppe beim Gleiten auf einen Widerstand, wird sie ihn anders beeinflussen als eine leichtere, und so fort. Hiermit soll nur angedeutet werden, daß sich bei Bewegungen von Lockerböden eine Menge von Kombinationen herausstellt, die ihrerseits die wechselvollen Einzelheiten der gleitenden Tundra erklären.

In Spitzbergen findet sich Lockerboden naturgemäß überall in den tiefer gelegenen Landesteilen, also vorzugsweise auf den weiten Vorländern. Die höheren Landesteile tragen Eis, das den Boden verhüllt und lose Bestandteile nicht liegen läßt, sondern in die Tiefe herabträgt. Unten sammelt sich alles an, was von Eis oder Wasser transportiert wird oder von den Abhängen herabstürzt. Da die Vorländer eben oder doch nur wenig geneigt sind, meistens auch eisfrei, bleibt auf ihnen alles liegen und unterliegt einer starken Zersetzung, zumal Wasser und Bodenfeuchtigkeit der geringen Neigung wegen dort vielfach stagniert. Bald unter der Oberfläche ist das Wasser aber dauernd gefroren, der Lockerboden also erstarrt. So sind auf den Vorländern alle Bedingungen für Entstehung der Tundra und ihrer Bewegungen gegeben.

Entsprechend der obigen Unterscheidung der Ursachen des Gleitens möchte ich im Bodenfluß Spitzbergens zwei Arten unterscheiden, einen solchen Bodenfluß, der sichtbar von der Bodenneigung abhängt, und einen andern, der davon unabhängig ist.

Die erste Art sah ich außer an vielen anderen Stellen ausgezeichnet hinter dem Signe-Hafen am Anfang des weiten Tals, das dort zur Außenküste hinüberführt. Der Boden ist wellig und hügelig. Verwitterte Rundhöcker, Bachrinnen und Seen geben ihm unebene Formen; die Höhenunterschiede sind gering, doch sieht man überall Abhänge, selten ganz ebene Flächen. Das anstehende Gestein ist Hekla Hook. Es ist tief verwittert und auch von vielen erratischen Bildungen umpackt, besonders an den Abhängen, die daher meist aus Lockerboden bestehen. Dieser Lockerboden gleitet an den Abhängen abwärts und zwar die größeren Stücke darin vermöge ihrer größeren Schwere am meisten. Sie schieben



Figur 28.
W Wulst S Steinwall. R Riss.
WR Wasserriss.

die kleinen Scherben und den Lehm vor sich her und wulsten ihn auf (Figur 28). So bilden sich abwärts konvex gekrümmte Steinwälle, von Lehmwulsten außen umsäumt, auf denen sich Moose, Rasen und andere Pflanzen angesiedelt haben. Innerhalb der Steinwälle liegt zunächst feinerer Lockerboden, kahler als der Wulst außen, eben und nur wenige Zentimeter unter der Höhe der umgebenden Wälle, geht aber aufwärts bald in einen neuen, bewachsenen Wulst über, der den nächsten kleinen Steinwall umsäumt.

Die Steinwälle bestehen vielfach aus plattigen Steinen, da die Hekla Hook-Schiefer plattig zerfallen. Man sieht nun sehr häufig, daß solche Platten aufrecht stehen und zwar in der Richtung des Walls, also mit ihrer Fläche gegen das umwallte Innere gekehrt, sowohl an den Stirnteilen der Wälle wie an ihren Seitenteilen. Letztere streichen (wie Seitenmoränen) in der Richtung des Abhangs, also des Fließens, erstere, wie Endmoränen, senkrecht dazu. In beiden Fällen stehen die Platten in der Richtung des Walls, also mit ihren Flächen senkrecht zur Druckrichtung, die man auch aus der Aufwulstung des feinen Materials außen um den Steinwall erkennt. Häufig sieht man Wälle und Wülste von Spalten durchrissen, die durch ungleich schnelles Fließen der einzelnen Teile entstehen. Spalten, welche die Seitenteile des Walls durchqueren, nicht ganz direkt, sondern ein wenig mit ihrem Innenrand konvergierend (Figur 28), dürften dadurch entstehen, daß der Wall sich etwas schneller bewegt als das feinere Innere, was ich schon vorher aus den Aufwulstungen des feineren Bodens durch die Steinwälle schloß. Andererseits sieht man Längsrisse die Steinwälle außen begleiten, häufig von Wasser durchrieselt; man versteht ihre Bildung am besten, wenn man annimmt, daß sie Bodengruppen scheiden, die sich verschieden schnell nebeneinander abwärts bewegen (WR in Figur 28).

Bodenfluß, wie den soeben beschriebenen, habe ich in Spitzbergen überall gesehen, wo die Tundra nicht eben war. Ganz geringe Neigungen genügen, um ihn entstehen zu lassen. Die einzelnen Bogen sind meist nicht groß; der oben beschriebene war drei Schritte breit und fünf Schritte lang, und viel größer habe ich sie auch sonst nicht gesehen, aber häufig kleiner. Die Wälle und Wülste sind nur einige Centimeter hoch. Trotzdem ist diese Ordnung des Bodens in der Landschaft sehr auffällig, da die Vegetation nur klein ist und sie nicht verdeckt. Daß sie durch Fließen den Abhang abwärts entsteht, dürfte keinem Zweifel unterliegen. Die Plattenstellung, die Wülste, die Risse sind typische Flußerscheinungen, und diese genannten Züge wiederholen sich in dem feineren Lockerboden im Innern der Wälle noch in Scherbenstellungen, Rinnungen und Sprüngen.

Etwas anders steht es wohl mit runden Bildungen, die sich auf Verebenungen finden. Auch sie haben Steinwälle, bewachsene Mooswülste außen, Plattenstellung in der Wallrichtung, aber nicht längliche, sondern runde Formen und meiner Erinnerung nach auch keine bestimmt geordneten Risse. Man findet häufig beide Arten nebeneinander und sieht sie aus einander hervorgehen, sowohl die länglichen aus runden, nämlich an Abhängen, die sich von Verebnungen absenken, welche mit runden bedeckt sind, als auch runde aus länglichen, nämlich auf Verebnungen am Fuße von Abhängen.

Der Gedanke liegt nahe und ist zuerst wohl von Joh. G. Andersson (Solifluktion, a Component of subaerial Denudation. Journ. of Geology, Vol. XIV, 1906) ausgesprochen worden, der diese Bildung auf Bären-Eiland studiert hat, daß die runden Bildungen dort entstehen, wo der Bodenfluß keine ausgesprochene eigene Richtung hat, also auf Ebenen. Auch an runde Anordnung des Schuttes durch Wasserwirbel hat dieser Autor gedacht. Ich suchte mir die runden Bildungen auf ebenen Böden zunächst immer so zu erklären, daß sich der Lockerboden auf Ebenen allseitig, ohne Bevorzugung einer Richtung, auseinanderdrückt und schiebt, faßte die runden Wälle und Wülste also ähnlich auf, wie die Bildungen des Pancake Eises, also wie durch Reibung und Drehung an einander vorbei abgerundete und durch gleichzeitige Pressung gegeneinander umwulstete Eisschollen, wie man sie auf unseren großen Flüssen im Frühjahr und in den äußeren Zonen des polaren Treibeises überall findet. Tatsächlich besteht auch eine gewiße Ähnlichkeit der runden Bodenflußbildungen mit dem Pancake-Eis.

Ich glaube indessen, daß Vorgänge, wie beim Pancake-Eis, die runden Bodenflußbildungen doch nicht genügend erklären, weil sie einen Grad von Beweglichkeit im Lockerboden voraussetzen, der tatsächlich nicht vorhanden ist. Jedenfalls ist Pancake-Eis viel leichter in sich beweglich als dieser Lockerboden. So dürften bei den runden Bodenflußbildungen noch andere Ursachen mitwirken.

Diese sieht man heute in Zusammenhang mit den Rissen und Sprüngen, die durch Austrocknung von Lockerböden entstehen und dabei den sogenannten Polygonalboden schaffen, der ja vielfach vorkommt, besonders in Gletschergebieten, wo die Flüsse feinen Schlamm absetzen, der nachher trocknet und dabei polygonal zerspringt. Für Spitzbergen ist er z. B. von Thorild Wulff (Botanische Beobachtungen aus Spitzbergen, Lund 1902, E. Malmströms Buchdruckerei) beschrieben worden, auch in Hinblick darauf, wie sich die Vegetation auf ihm festsetzt und entwickelt.

Man nimmt nun an — meines Wissens ist auch der internationale Geologenkongreß auf seiner Spitzbergenexkursion im Sommer 1910 zu dieser Auf-

fassung gekommen —, daß der Polygonalboden allmählich in den runden Bodenflußtypus übergeht. Wasser soll in die Risse jenes eindringen, gefrieren, sich dabei ausdehnen, und so die Ränder der Polygone pressen und wulsten. Wenn dies wiederholt geschieht, sollen sich die runden Steinwälle mit ihrer vertikalen Plattenstellung bilden. Wir hätten dann eine Entstehung durch Gleiten infolge von Zustandsänderungen im Lockerboden, wie ich sie oben an zweiter Stelle nannte.

Ich halte es auch für möglich, daß runde Wälle und Wülste in dieser Weise entstehen können, zweifele aber, daß so ihre einzige Entstehungsart ist. Denn die Übergänge von den länglichen in runde Wälle und umgekehrt deuten darauf hin, daß auch bei den runden Fließerscheinungen der ersten Art, also



F. Leiber phot.

Figur 29.

Bach in Schottern.

auf Abhängen abwärts, mitwirken. Auf Bären-Eiland hatte ich außerdem an einer Stelle den Eindruck, daß der Schutt am Fuße eines Hanges durch Wirbelbewegungen geordnet war, ebenso vor dem westlichen Lovengletscher am Südufer der Königs Bai, wo der Gletscherbach sich vielfach verästelte, bald hier, bald dort strömte, dabei anstieß und wirbelte, ähnlich wie es auf Figur 29 von einem anderen Bache dargestellt ist. In dem so durchströmten jüngsten Schuttland des Gletschers sah man die Anlage von runden Wällen, während man auf dem älteren, früher ähnlich überströmten, jetzt aber über dem Bach gelegenen und von ihm durchrissenen schon bewachsene runde Wallbildungen sah. Letztere könnten in gleicher Weise durch Wasserwirbel entstanden sein wie die jungen.

So werden verschiedene Ursachen zusammenwirken. Auch darf man nicht jede vertikale Plattenstellung durch Flußerscheinungen entstanden denken, da man häufig sieht, wie das anstehende Gestein sich aufblättert. Waren dessen Schichten aufgerichtet, bilden sich vertikal stehende Platten an Ort und Stelle, lediglich durch Verwitterung. Jedenfalls spielt aber der Bodenfluß in Spitzbergen eine bedeutsame Rolle. Seine Erscheinungen drängen sich überall auf, wo man Land mit Lockerboden betritt, also vorzugsweise auf den Vorländern. Die beschriebenen länglichen Bildungen sind ausschließlich sein Werk und die runden zum Teil.

—



Abhandlungen
der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
XXV. Band, 8. Abhandlung

Aus den wissenschaftlichen Ergebnissen der
Merzbacherschen Tian-Schan-Expedition

Geologische Untersuchungen im Chalyktau, Temurlyktau, Dsungarischen Alatau (Tian-Schan)

von

Kurt Leuchs

Mit 8 Tafeln und 18 Textfiguren

München 1912
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



Vorwort.

An der von Sr. K. H. Prinz Arnulf von Bayern mit Herrn Prof. Dr. Merzbacher 1907 unternommenen Expedition in den Tian-Schan nahm ich als Geologe teil. Es sollen nun in dieser Arbeit meine Beobachtungen und die sich daraus ergebenden Schlüsse mitgeteilt werden.

Ich halte es für richtig, bei der Ausarbeitung solcher Expeditionsergebnisse, soweit möglich, Tatsachen und Theorien voneinander zu trennen. Denn dem, der später in ein solches Gebiet kommt, ist es das wichtigste, aus den Arbeiten seiner Vorgänger ersehen zu können, was für Verhältnisse sie an einer bestimmten Stelle getroffen haben und nachprüfen zu können, ob die Verhältnisse tatsächlich so sind. Daher habe ich in dieser Arbeit der Routenbeschreibung eine verhältnismäßig große Ausdehnung gegeben.

Die in dem Abschnitt über die geologische Geschichte entwickelten Ansichten können, der Natur der Sache nach, keine endgiltigen sein. Das von mir bereiste Gebiet ist, im Vergleich zu der Gesamtausdehnung des Tian-Schan, nur klein und läßt über manche Fragen, wie z. B. die Ausdehnung der Angarasee oder die tertiäre Gebirgsbildung, nur unsichere Schlüsse zu. Es wäre verfehlt, sich hier unwiderruflich an eine bestimmte, einmal ausgesprochene Ansicht zu binden. Jede neue Expedition bringt neues Material, welches die bisherigen Ergebnisse erweitert und die daraus gezogenen Schlüsse bestätigt oder verwirft.

Es ist daher die im 3. Abschnitt ausgesprochene Ansicht von der Entstehung des Tian-Schan nur als das aufzufassen, was sie tatsächlich sein soll, ein Versuch der Erklärung und ein Ansporn zu weiterer Forschung.

Dem Leiter unserer Expedition, Herrn Prof. Dr. Gottfried Merzbacher, danke ich für die Unterstützung, welche er mir bei dieser Arbeit durch Mitteilung von Literatur und Überlassung von Photographien gewährte.

Vom Ilibecken durch das Talkytal zum Sairamnor (dsungarischer Alatau).

(Taf. 2, Fig. 1; Taf. 3, Fig. 1, 2.)

Auf dieser kurzen, vor Beginn der eigentlichen Expedition unternommenen Tour ergab sich Gelegenheit, allerdings nur flüchtige Untersuchungen über den Bau dieses Teiles des dsungarischen Alatau zu machen. Im Hinblick darauf, daß auf der von Romanowssky und Muschketow herausgegebenen geologischen Karte dieses Gebietes[1]) verschiedenes anders dargestellt ist, als es nach meinen Aufzeichnungen der Fall zu sein scheint, dürfte es angezeigt sein, meine Untersuchungen zu veröffentlichen.

Drei Hauptgruppen beteiligen sich an dem Profil: Granit, Kalkstein, Ton- und Kieselschiefer. Von diesen ist der Granit das älteste Gestein. Es ist ein ziegelroter Biotitgranit von mittlerer Korngröße mit dunkelgrünem Biotit, farblosem Quarz, rötlichem Orthoklas und lichtgrünem Plagioklas, wird hie und da auch feiner körnig und nimmt durch hellere Färbung des Orthoklases graulichweiße Farbe an. An der Grenze gegen den Tonschiefer ist er mit Schwefelkies imprägniert. Gänge von dunkelgrünem und grauem Diorit durchsetzen den Granit an mehreren Stellen, besonders zahlreich beim untersten Piket, wo der Granit von Dioritgängen ganz durchschwärmt ist. Dieser Granit grenzt im S an Tonschiefer, im N an Kalk, hat aber an keinem dieser Gesteine irgend welche sichtbaren Einwirkungen hervorgerufen und ist somit älter als diese.

Der Kalkstein liegt nördlich vom Granit an bzw. über ihm. Es ist ein grauer, manchmal etwas kieseliger, bald heller, bald dunkler, auch brecciöser Kalkstein, in dem ich keine Fossilien gefunden habe. Ich möchte aber trotzdem diesen Kalk als unterkarbonisch bezeichnen und zwar aus folgenden Gründen. Bei dem auf große Entfernungen gleichbleibenden Bau des Tian-Schan wie überhaupt Zentralasiens und der weiten Verbreitung besonders des transgressiv über älteren Gesteinen, meist Graniten, liegenden unterkarbonischen Kalkes im Tian-Schan, sowie der Feststellung des unterkarbonischen Alters der Kalke des dsungarischen Alatau durch Muschketow dürfte es nicht zu gewagt erscheinen, wenn auch im Profil des Talkytales das Alter des Kalkes als unterkarbonisch angenommen wird. Der Kalk streicht ungefähr quer zum Tal, also WNW—OSO, ist gefaltet und die Schichten fallen nach verschiedenen Richtungen ein. In einiger Entfernung vom Granit fallen sie steil nach NNO, später steil nach SSW, noch später liegen sie flach und beim Piket Yr-tai fallen sie wieder nach NNO erst schwach, dann bald sehr steil. Aus diesen wenigen Beobachtungen, die ich über die Lagerung des Kalkes machen konnte, geht hervor, daß die Schichten bedeutende mechanische Störungen erfahren haben. Das zeigt sich auch an manchen Stellen durch starke Zerrüttung, brecciöse Partien und Rotfärbung.

Die Ton- und Kieselschiefergruppe besteht aus grauen, olivgrünen, roten und braunen Tonschiefern, z. T. griffelig zerfallend, blau- und grauschwarzen Kieselschiefern, sowie

[1]) Geologitschesskaja karta Turkestanskago kraja 1 : 1.260.000, 1886.

Breccien von Tonschiefermaterial mit Quarztrümmern. Die Schiefer bilden härtere und weichere Lagen, sind gefaltet, stärker noch als die Kalke und besonders intensiv zwischen dem 1. Piket und dem Talkypaß (Fig. 1). Ihr Streichen ist ebenfalls quer zum Tal, entsprechend der Hauptrichtung der Kämme. Diese Gesteine liegen bei b und d unzweifelhaft (s. Profil Fig. 1, Taf. 2) auf dem Kalk, bei b sind sie als tonige Kalkmergel mit Kalkspat- und Quarztrümmern und Sandsteine mit Kalkmergeln entwickelt und zeigen dadurch deutlich, daß sie transgressiv über dem Kalk abgelagert wurden. Diese Gruppe ist also jünger als der Kalk. Nach Analogie mit anderen Teilen des Tian-Schan müßte sie den Angaraschichten zuzurechnen sein. Ein schon von Muschketow und Romanowsski beschriebenes Vorkommen von Angaraschichten in geringer Entfernung vom Talkytal ist das des kohlenführenden Hügellandes n. w. Kuldscha im Ilibecken. Braune und rote eisenschüssige Sandsteine mit Tongallen und Konglomerate, die hier anstehen, hält Muschketow nach den Funden von Equisetum arenaceum etc. für Rhät und die darüber liegenden Schiefertone und kalkigen Sandsteine, die Braunkohlenflöze einschließen und Reste von Equisetum, Podozamites etc. enthalten, für unteren Jura. Die rhätischen Schichten liegen, nach Muschketow, dikordant auf dem karbonischen Kalk. (Genaueres über diese Schichten auch bei Friederichsen, Morphologie[1]) etc. p. 100—103), Hier sei noch erwähnt, daß ich auch am Südrand des Ilibeckens, an den Nordabhängen des Temurlyktau, eine Serie von Angaraschichten gefunden habe, deren nähere Beschreibung in dem Profil durch den Temurlyktau gegeben wird. Daraus geht hervor, daß diese Schichten einst das ganze Becken des Iliflusses ausgefüllt haben und daß dieses Becken schon nach der Ablagerung des unterkarbonischen Kalkes, genauer der Stufe des Productus giganteus var. edelburgensis, also des obersten Unterkarbons, das ja auch im Temurlyktau vorhanden ist und dort die Wasserscheide bildet, annähernd in seiner heutigen Ausdehnung entstanden ist. Nach dem bisher Gesagten erscheint es mir sehr wahrscheinlich, daß die Schiefergruppe im Talkytal eine tiefere Abteilung der Angaraschichten repräsentiert als die Gesteine des Kohlengebirges n. w. Kuldscha, somit triadisches oder selbst permisches Alter besitzt.

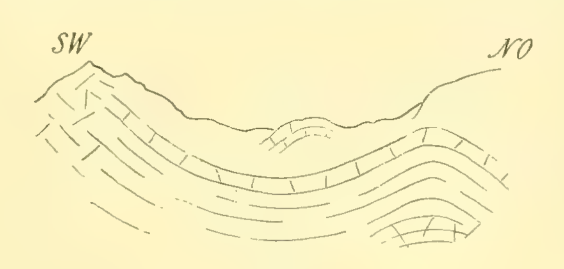


Fig. 1.
Faltung im Kieselschiefer der Angaraschichten oberhalb des 1. Pikets Yr-tai im Talkytal (dsungarischer Alatau).

Zu diesen drei Hauptgruppen von Gesteinen treten noch verschiedene untergeordnete Eruptivgesteine. Es wurde schon erwähnt, daß der Granit von Dioritgängen durchsetzt ist. Solche Dioritgänge finden sich auch außerhalb des Granits und zwar sowohl im Kalk als im Schiefer. Im Kalk ist beim 1. Piket Yr-tai ein Dioritgang aufgeschlossen, der von (s. Taf. 2, Fig. 1) einem grauen Camptonit von basaltischem Habitus begleitet wird. Der

[1]) Friederichsen, Morphologie des Tiën-Schan. Z. Ges. Erdk. Berlin, Bd. 34, 1899. Friederichsen, Beitrag zur Kenntnis vom Alter und Charakter der sog. Hanhaischichten Innerasiens. Pet. Mitt. 46, 22 und 23, 1900.

Tonschiefer ist nahe dem Austritt des Tales in die Iliebene von einem Dioritgang durchsetzt, der quer über das Tal streicht. Auf der südlichen Seite des Diorites findet sich eine Bank grauen Quarzites, stark gestört und steil stehend, ferner ist der Diorit begleitet von rotbraunem Porphyrit. Auch bei c ist ein Ausbruch dieses Porphyrites erfolgt, wie Porphyrit- und Kalkbreccien beweisen. Außerdem fand ich im Flußbett noch ein Stück einer grauen Hälleflinta, die im Oberlauf des Tales oder in einem der Seitentäler anstehen wird.

Außer diesen Gesteinen kommen noch junge Ablagerungen am Talkypaß und bis in einige Entfernung südlich des Passes vor, die für die Geschichte des Tales und des Sairamnorsees von Bedeutung sind. Ein Kalkkonglomerat besteht aus nur wenig gerundeten Bruchstücken von grauem Kalkstein, die durch ein kalkig-toniges braunes Bindemittel verkittet sind. In einem anderen Gestein, einer roten Breccie, treten die Kalkbrocken an Menge ziemlich zurück gegenüber solchen von grünem Tonschiefer, das ganze Gestein ist durch Infiltration mit eisenhaltigem Wasser kräftig gerötet. Eine zweite Breccie besteht fast nur aus Trümmern von grünem Tonschiefer mit starkem Zurücktreten der kalkigen Bestandteile, mit Lehmzwischenlagen und sehr lockerem Gefüge. Sie erweist sich dadurch als jüngste dieser Bildungen. Diese Breccien und Konglomerate sind unzweifelhafte Ablagerungen fließenden Wassers und ihre Trümmer sind, wie aus der wenig gerollten Form hervorgeht, nahe ihrer ursprünglichen Lagerstätte abgesetzt worden. Die kalkigen Bestandteile stammen aus dem Kalk des das Sairamnorbecken südlich begrenzenden Kammes, über den der Talkypaß führt, und die Tonschieferbrocken aus dem noch heute bis wenig unterhalb südlich des Passes reichenden Tonschiefer, der früher bis zum Paß und darüber nach N sich erstreckt haben mag. Das Ufer des Sees ist heute 600 m horizontal vom Paß entfernt und liegt etwa 100 m tiefer. Gegenwärtig abflußlos, muß der See früher einen Abfluß durch das Talkytal zum Ili gehabt haben und demgemäß muß sein Spiegel mit dem Paß in gleicher Höhe gewesen sein. Es bieten sich nun zwei Möglichkeiten der Erklärung: entweder der See reichte bis zur heutigen Höhe des Passes oder der Paß war einst tiefer. Letzteres scheint mir wahrscheinlicher, denn die jungen Bildungen am Paß und südlich davon sind in ihrer Lagerung stark gestört, stehen z. T. senkrecht, z. T. fallen sie mit 40° nach N, streichen wenig östlich des Passes N 88 W und am Paß selbst N 40—55 W. Wenig südlich des Passes bilden sie einen NW—SO streichenden Sattel. Auch der Kalk des Kammes läßt die Spuren von Störungen an seiner brecciösen Beschaffenheit erkennen. Alles dies spricht dafür, daß durch Bodenbewegungen in junger Zeit der Kamm und mit ihm der Paß seine jetzige Höhenlage erhalten hat. Dadurch wurde der Abfluß des Sairamnor zum Ili aufgehoben und der See ist seitdem abflußlos. Der Zeitpunkt dieses Ereignisses läßt sich nicht angeben, sicher ist nur, daß er nicht sehr weit zurückliegt.

Wie aus dem Profil (Taf. 2, Fig. 1) ersichtlich, folgt unmittelbar auf den geschichteten Löß des Ilibeckens am Eingang in das Talkytal Tonschiefer. Die gesamte mächtige Serie der Hanhaischichten, die weiter westlich in den Vorhöhen des dsungarischen Alatau so mächtig entwickelt ist und deren Vorhandensein dort durch Friederichsen[1]) vom Fluß Chorgos

[1]) Friederichsen, Forschungsreise in den zentralen Tiën-Schan und dsungarischen Alatau im Jahre 1902. Mitt. Geogr. Ges. Hamburg, Bd. 20, 1904.

bis zum Flusse Yssök in einer OW Erstreckung von 40 km und einer ungefähren Breite von 15 km festgestellt wurde, fehlt am Talkytal. Dagegen ist sie 15 km westlich im Tal des Urta-Aksu mächtig entwickelt. Bei dem Besuch der Pagode von Da-si-gu in einem Seitentälchen des Urta-Aksu hatte ich Gelegenheit, diese Ablagerungen einigermaßen kennen zu lernen. Vom Eintritt in das Urta-Aksutal ab befindet man sich im Bereich dieser Schichten. Es sind braungelbe Konglomerate, die aus verschieden dicken Bänken bestehen und schwach, 5—10°, S fallen. Die Grundmasse der Konglomerate ist braungelber sandiger Löß, die Komponenten sind dunkel- und hellgraue Kalke, olivgrüne Tonschiefer, roter und grüner Sandstein, rotbrauner Porphyrit, Biotitgranit mit rötlichem oder weißem Orthoklas, grauer Quarzit, lichtgrauer toniger Mergel und weißer Calcit, ferner finden sich, selten, Rollstücke eines älteren Konglomerates mit grüner Grundmasse, in welcher Trümmer von dunkelgrauem Kalk, grünem Sandstein und grauem Quarzit eingebettet sind. Die Korngröße der Konglomerate ist verschieden, bald gröber, bald feiner, hie und da kommen auch einzelne sehr große Blöcke, bis zu Kopfgröße, vor, auch Schichten aus unreinem Löß sind den Konglomeratbänken in wechselnder Dicke zwischengelagert, ebenso feiner toniger Mergel mit kleinen, manchmal nur kantengerundeten Geröllen. Im Mergel sieht man schwarze und braune Flecken, die wohl von organischer Substanz herrühren, im Konglomerat nahe der Grenze gegen eine Mergelschicht fand ich Stücke von brauner, torfähnlicher Masse.

Die einzelnen Schichten erstrecken sich nicht immer gleichmäßig durch die ganze Masse, es kommt vor, daß eine Konglomeratschicht plötzlich endigt und in ihrer Fortsetzung liegt Mergel, oder eine Konglomeratschicht wird in ihrem Korn immer feiner bis zu sandigem Löß, zugleich wird sie dünner und keilt schließlich ganz aus. Diese Verhältnisse lassen sich sehr gut bei der Pagode von Da-si-gu studieren, die in einer riesigen, durch das Ausbrechen von Gesteinsmassen aus der steilen Konglomeratwand entstandenen Höhle liegt. Auch sonst bilden die Hanhaischichten gern steile Wände, hauptsächlich durch die reichliche Beteiligung von mehr oder weniger reinem Löß und seine Neigung zu senkrechter Klüftung. Im Urta-Aksutal sah ich einige Erdpyramiden aus den geröllreichen Schichten der rechten Talseite herausmodelliert.

Es erscheint mir zweifellos, daß die Hanhaischichten, die im Urta-Aksutal und seiner Umgebung eine NS Ausdehnung von mindestens 14 km haben (wie weit sie nach N sich fortsetzen, konnte nicht festgestellt werden), nach W sich ohne Unterbrechung bis zu denen im Tale des Chorgos an der chinesisch-russischen Grenze fortsetzen und demnach die Schichten mindestens auf eine Länge von 60 km am Südhang des dsungarischen Alatau eine etwa 15 km breite Zone bilden. Was die Bildungsweise dieser Schichten betrifft, so dürfte die Ansicht von der Entstehung in einzelnen abgeschlossenen Becken am meisten Anspruch auf Richtigkeit haben. Denn wie aus der Zusammensetzung der Konglomerate ersichtlich ist, stammen die Rollstücke nur von solchen Gesteinen, die in dieser Kette des dsungarischen Alatau anstehen, auch spricht ihre oft nur wenig gerundete Form gegen einen weiten Transport. Es wurden zu jener Zeit gewaltige Geröll- und Sandmassen von den umgebenden Gebirgen durch die Flüsse in die Becken verfrachtet und in ihren Randzonen abgelagert, während weiter gegen die Mitte an Korngröße geringere Sedimente abgesetzt wurden. Als solche können die Massen von geschichtetem Löß angesehen werden, die allenthalben im inneren Ilibecken zusammen mit mehr oder weniger mächtigen Geröll-

lagen anstehen und besonders am rechten Ufer des Ili gut aufgeschlossen sind. Auch diese Bildungen sind an manchen Stellen disloziert, z. B. an einem Rücken nordwestlich Bayantö in der Nähe von Kuldscha. Dort liegt geschichteter Löß mit Geröllagen konkordant auf den kohlenführenden Angaraschichten und fällt zusammen mit diesen unter 40° nach O ein.

Aus diesen Beobachtungen ergibt sich folgendes: Das älteste Gestein ist der Granit, dessen Verfestigung abgeschlossen und dessen Decke bereits abgetragen war, bevor der Kalk abgesetzt wurde. Der Granit ist also sicher präkarbonisch. Über dieses alte Land dringt das Meer der Unterkarbonzeit transgredierend vor. Seine Absätze finden wir im Talkytal und südlich des Ilibeckens im Temurlyktau. Nach dem Unterkarbon erfolgt Regression des Meeres, Land- und Gebirgsbildung. Bei dem neuerlichen Vordringen des Meeres gelangt es nicht mehr zu einer allgemeinen Überflutung, das Meer der Angarazeit bleibt auf die Becken und ihre Ränder beschränkt, an welchen es mehr oder weniger weit in die Gebirgsländer eindringt. Es ist möglich, daß im Gebiete des Talkytales das Angarameer über die Talkykette nach N bis zum Sairamnor gereicht hat, wenigstens sprechen dafür die direkt südlich und wenig unterhalb des Talkypasses liegenden Komplexe von Angaraschichten. In die spätere Angarazeit fallen auch analog den Verhältnissen im nördlichen Temurlyktau, welche im nächsten Abschnitt besprochen werden, die Ergüsse von Porphyrit und Camptonit und das gangförmige Auftreten von Diorit. Am Ende des Mesozoikums oder erst im Tertiär verschwindet das Meer, weitere Gebiete werden trocken gelegt, das ganze Land wird gefaltet und stehendes Wasser kann sich nur im heutigen Ilibecken erhalten. Im Tertiär oder im Quartär verschwindet auch dieser letzte Rest der ehemals so ausgedehnten Wasserbedeckung.

Temurlyktau.

(Taf. 3, Fig. 3, 4.)

Südlich des Ilibeckens erstreckt sich der Temurlyktau in WSW—ONO Richtung, im W in Verbindung tretend mit dem transilensischen Alatau nördlich des Issykkul, im O mit dem östlichen Teil des zentralen Tian-Schan. Diese Vorkette trennt das Ilibecken im N von dem wesentlich kleineren des Tekes im S. Ich überschritt die Kette auf zwei Wegen, über den Aulietaschpaß und über den Satl-Kasanpaß. Von diesen Routen soll zunächst die erste besprochen werden.

Von Kuldscha nahe dem rechten Ufer des Ili bis nach Dschagistai, einem Dorf am Nordfuß des Temurlyktau, reitet man stets auf den Ablagerungen des alten Ilisees, geschichtetem Löß mit Geröllagen. In sie hat sich der Ili sein Bett bei Kuldscha 30 m tief eingerissen und man sieht dort gut die Beschaffenheit dieser Sedimente. Die Hauptmasse ist mehr oder weniger unreiner Löß von gelbbrauner Farbe, mit kleinen Steinchen durchsetzt. Zwischen den Lößlagen finden sich ganz unregelmäßig Lagen von Geröllen von verschiedener Korngröße, mit mehr oder weniger lössigem Bindemittel und Sand. An- und Abschwellen der einzelnen Lagen, Auskeilen und Wiederaufsetzen sind ebenso häufig wie in den Hanhaischichten des dsungarischen Alatau am Nordrand des Ilibeckens. Nur an der rechten Seite ist ein Steilrand entstanden, an der linken Seite steigt, nach

Überschreiten des 3 km breiten Inundationsgebietes, der Boden ganz allmählich an bis zum Gebirgsfuß im S, nur einige 10—20 m hohe Terrassen mit abgeschrägten Rändern unterbrechen die gleichmäßige Neigung.

Bei Dschagistai in einer Höhe von 1200 m ist das Ende dieser Ablagerungen erreicht, hier unmittelbar am Fuß des Gebirges ist die Neigung des Gehänges steiler. Deutlich sind hier 3 Terrassen übereinander zu sehen. In die unterste hat der Dschagistaibach sich 15—20 m tief eingeschnitten und an den Steilrändern seines Bettes ist die Zusammensetzung der Schichten zu erkennen. Es sind im wesentlichen die gleichen Sedimente wie am Ili, nur ist Verschiedenheit darin zu beobachten, daß die Lößschichten an Zahl und Dicke bedeutend zurücktreten und daß fast nur noch Geröllagen, mit Lößmaterial gemischt, auftreten. Die Gerölle sind im allgemeinen etwas gröber als am Ili, entsprechend der geringeren Entfernung von der ursprünglichen Lagerstätte, das Bindemittel enthält mehr kalkige Bestandteile, die, in einzelnen Lagen angereichert und verhärtet, zur Bildung von festen Nagelfluhbänken Veranlassung gegeben haben, welche über die liegenden und hangenden lockeren Schichten herausragen. Die Schichten liegen horizontal oder fallen schwach N. Die 2. und 3. Terrasse folgen in Vertikalabständen von je 20 m. Diese Terrassen reichen bis einige km südlich Dschagistai. Hier ist der Rand des Ilibeckens und beginnt das Gebirge. Es ist nun nicht meine Absicht, Schritt für Schritt vorwärts gehend jede einzelne Gesteinsart und die Art ihrer Lagerung aufzuzählen. Ich werde vielmehr, soweit möglich, die mannigfaltigen Gesteine dieses Querschnittes durch den Temurlyktau zu natürlichen Gruppen zusammenfassen. Dabei ergibt sich Gelegenheit, die petrographische Beschaffenheit der Gesteine zu erläutern und daraus Schlüsse auf ihre chronologische Stellung zu ziehen. Es sei gleich vorweg bemerkt, daß hier, wie auch im ganzen übrigen untersuchten Gebiet, nur das Alter eines einzigen Horizontes durch Fossilfunde sicher bestimmt werden konnte, nämlich das des Kalkes als oberes Unterkarbon. Die Altersbestimmung aller anderen Gesteine kann, wenn überhaupt möglich, nur durch die Beobachtung ihrer Lagerung zum unterkarbonischen Kalk und durch Vergleich mit anderen, in dieser Beziehung etwas günstigeren Teilen des Tian-Schan erfolgen.

Es lassen sich drei große Zonen unterscheiden und zwar von N nach S:

Zone der Angaraschichten,
Zone von Porphyrit und unterkarbonischem Kalk,
Zone des Granites.

Um chronologisch vorgehen zu können, beginne ich im Süden des Profils.

Wie im dsungarischen Alatau, so ist auch hier ein Granit das älteste Gestein. Er liegt auf der Südseite des Gebirges am Rand gegen das Tekesbecken. Petrographisch ist er dem Granit des Talkytales sehr ähnlich, ziegelrot mit rotem Orthoklas, lichtgrünem Plagioklas, farblosem Quarz und dunkelgrünem Biotit. Basische Ausscheidungen von dunkelgrüner Farbe sind im Granit nicht selten. Morphologisch hebt sich die Granitzone scharf von dem übrigen Gebirge ab. Sie bildet ein niedriges Hügelland mit rundlichen, breiten Kuppen, Anzeichen hohen Alters. Die Breite dieser Zone beträgt da, wo der Dschidschenbach sie in engem, vielfach gewundenem Laufe durchbricht, etwa 5 km. An ihrem Nordrand erstreckt sich orographisch links des Dschidschentales eine flache Talung in WSW—ONO Richtung, die sich rechts des Dschidschen, allerdings viel weniger ausgeprägt, fortsetzt. Nördlich dieser Talung ist kein Granit mehr zu finden, es hat den

Anschein, als ob diese Furche ihre Entstehung einer Verwerfung verdanke, an welcher der Granit gehoben worden ist. Doch reichen meine Beobachtungen nicht aus, um diese Frage sicher zu beantworten.

Die nächste Zone hat eine Breite von 25 km und reicht nach N bis über den wasserscheidenden Kamm hinaus. Sie schwingt sich zu größerer Höhe empor, so daß die Gipfel 3000—3500 m erreichen, während der Südrand des Temurlyktau ungefähr 1800 m und der Nordrand etwa 1200 m hoch liegt. Die Zone wird gebildet aus zwei verschiedenen Gesteinen: Porphyrit und Kalk. Der Porphyrit bildet das Liegende und ist bis zum Südabhang des Berges Aulie-tasch als solches deutlich sichtbar an verschiedenen, voneinander getrennten Stellen. Sein Kontakt gegen den Granit konnte nicht sicher festgestellt werden, Schutt und Verwitterungsprodukte des Granits (roter Sandstein östlich des Dschidschentales?) verhinderten dies. Wahrscheinlich sind Granit und Porphyrit durch eine steile Verwerfung voneinander getrennt.

Der Porphyrit hat rotbraune, schwach poröse Grundmasse, aus der sich Einsprenglinge von kurz leistenförmigen Plagioklasen von lichter Farbe und meist matter Beschaffenheit deutlich abheben. Manche Stücke zeigen daneben noch Einsprenglinge von dunkelgrünem Mineral. Stellenweise ist Calcit reichlich vorhanden. Grünsteinbildung findet sich hie und da. Im Dschidschental und einem rechten Seitental liegen an einigen Stellen Tuffe über dem Porphyrit. Nördlich vom Aulietaschpaß ist die oberste Bank des Porphyrites felsitisch. Der Porphyrit ist deutlich gebankt. Er ist älter als der Kalk, der im allgemeinen konkordant über ihm liegt und keine Spur einer metamorphosierenden Einwirkung des Porphyrites zeigt.

Gröber hat in seiner Arbeit: Karbon und Karbonfossilien des nördlichen und zentralen Tian-Schan[1]) p. 352 bereits ein Profil veröffentlicht, das ich im Chonochaital, richtiger im Dschidschental, in welches das Chonochaital 3 km nördlich der Stelle des Profils mündet, aufgenommen habe. Aus diesem Profil ist ersichtlich, daß der unterkarbonische Kalk konkordant über dem Porphyrit liegt und mit einer Oolithbank beginnt. Einige Handstücke von Kalk, welche auf der früheren Reise Merzbachers gesammelt wurden, enthalten Einschlüsse von Feldspat und Gröber schließt daraus, daß der Kalk nah über dem Porphyrit transgressiv abgesetzt wurde. Er fügt aber hinzu, daß dies für die Annahme einer Transgression kein zwingender Beweis ist, da ja unter dem Porphyrit wieder Unterkarbon liegen könne und der Porphyrit als submarine Decke in einem stationären Meer abgesetzt worden sein könne. Es ist mir nicht gelungen, Beweise für oder gegen diese Möglichkeit beizubringen, da im ganzen Gebiete der Porphyrit das Liegende bildet. Immerhin dürfte die Annahme, daß der Porphyrit an der Basis des Kalkes liegt, daß also unter dem Porphyrit kein unterkarbonischer Kalk mehr ansteht, und daß der Kalk transgressiv über dem Porphyrit abgesetzt wurde, größere Wahrscheinlichkeit haben. Am Aulietasch selbst führt der Weg, der westlich und südlich um den Berg herumzieht, durchaus im Kalk, aber es ist wahrscheinlich, daß auch hier Porphyrit die Unterlage bildet. Der Kalk hat, zusammen mit dem Porphyrit, vielfache Störungen seiner ursprünglichen Lagerung erfahren. Während er im mittleren Dschidschental horizontal liegt oder schwach nach N einfällt, biegen die Schichten talauf allmählich um und fallen zuletzt steil N. Im Dschidschental

[1]) Abh. d. Ak. d. Wiss. München, II. Kl., Bd. 24, 2. Abt., 339—384, 1909.

bildet der Kalk da, wo diese steil fallenden Schichten den Talboden erreichen, eine enge Schlucht. Die Schichten streichen hier N 85—90 O und fallen unter verschiedenen Winkeln, 30—50° N, wobei sie im einzelnen noch gefaltet und geknickt sind. Auch in dem schon erwähnten rechten Seitental ist eine Lagerungsstörung sichtbar, von der Prof. Merzbacher eine Aufnahme machte (Taf. 3, Fig. 3). Ich selbst habe dieses Tal nicht besucht. Nach Angabe Merzbachers wäre dort noch ein späterer Porphyritausbruch erfolgt, der den Karbonkalk durchbrochen hätte.

Auch der Porphyrit südlich dieser Schlucht, der in einiger Entfernung davon noch mit 15—25° S fällt, nimmt vor der Schlucht nördliches Fallen an, konkordant mit dem Kalk. Am oberen Ende der Schlucht zeigt sich eine kleine Partie Grünstein im Kalk, am Beginn der folgenden Talweitung steht Porphyrit an, dann folgt hellgrauer klotziger Kalk mit undeutlicher Schichtung und dann wieder Porphyrit, der nun auf eine längere Strecke im Talboden anstehend zu finden ist. In der sumpfigen Weitung, welche das Tal hier bildet (alter See), hat sich das Wasser bis auf den liegenden Porphyrit herab eingegraben, während die Seitenhänge aus Kalk gebildet sind.

Das folgende Talstück ist wieder eng und liegt ganz im Kalk, der von einem Basaltgang durchbrochen ist. Darauf kommt wieder Porphyrit zu Tage, der sich beträchtlich in die Höhe hebt und noch bis wenig unterhalb des Passes ansteht.

So sieht man auf dieser Strecke immer wieder den liegenden Porphyrit zu Tage treten und nur da, wo durch ihre petrographische Beschaffenheit oder durch die Art ihrer Lagerung widerstandsfähigere Schichten des Kalkes im Tal anstehen, haben sie der Erosion Widerstand leisten können. Auch am Paß selbst ist der Kalk bis auf eine wenig mächtige Lage herab weggeschafft und wenig nördlich des Passes verschwindet er in dem Tälchen, das vom Paß herabzieht, ganz und macht dem Porphyrit Platz. Am Aulietaschberg dagegen ist der Kalk wieder mächtig entwickelt, das ganze Massiv dieses gewaltigen Berges besteht aus Kalk und der Porphyrit liegt erst unterhalb des Weges, der westlich um den Berg herumzieht.

Zu erwähnen sind noch einige Gesteine, die im Dschidschen- bzw. Chonochaital gefunden wurden. Mitten im Porphyrit liegt eine kleine Partie eines harten, rotbraunen Sandsteins von mittlerem Korn und daneben ein Konglomerat mit viel Kalktrümmern.

Weiter oben durchbricht der schon erwähnte graue Basalt (Camptonit) den Kalk. Nördlich vom Eruptiv liegt eine Bank dunkelgrauen Kalkes, südlich dagegen auf eine Erstreckung von 40 m ein Kalkkonglomerat, das meist aus Kalkbrocken und nur aus wenigen Trümmern von Camptonit besteht und wohl besser als Tuff zu bezeichnen wäre. In dem Konglomerat befindet sich eine Kalkbank, die auf der rechten Bachseite schiefrig ausgebildet ist und Brachiopodenreste und kohlige Partien enthält, links des Baches dagegen ist der Kalk hart und bankig abgesondert. Direkt am Kontakt mit dem Camptonit ist das Konglomerat gerötet.

Von diesen Vorkommnissen ist das zweite leicht erklärt. Es hat an dieser Stelle ein Durchbruch von Camptonit stattgefunden, der angrenzende Kalk ist dabei großenteils zertrümmert worden, andere Kalkbänke haben sich widerstandsfähiger erwiesen, so daß selbst Fossilreste in ihnen erhalten blieben. Das Alter dieses Basaltes ist postunterkarbonisch. Vielleicht ist auch das andere Vorkommen durch einen Basaltgang zu erklären, der den Porphyrit ebenso durchbrochen hat wie weiter oben der Basalt den Kalk.

Am Aulietaschpaß endlich sah ich eine kleine Partie grünen, schiefrigen Gesteins, senkrecht stehend, das zu untersuchen wegen des während der Paßüberschreitung herrschenden starken Schneetreibens mir jedoch nicht möglich war. Der Schneefall verhinderte überhaupt eine genauere Untersuchung der ganzen Strecke vom Aulietaschberge bis herab ins Chonochaital, so daß eine spätere Untersuchung bei günstigeren Verhältnissen sicher noch manche wertvolle Beobachtung über den Bau dieses Gebietes bringen wird.

Das höhere Glied der Mittelzone, der Kalkstein, ist im Dschidschen- und Chonochaital mächtig entwickelt. In dem schon erwähnten Profil hat er eine Mächtigkeit von ungefähr 550 m, womit jedoch die obere Grenze des Kalkes nicht erreicht ist. Es sei kurz wiederholt, was ich Gröber brieflich darüber mitgeteilt habe und von ihm in der erwähnten Arbeit (s. o.) veröffentlicht worden ist. Der Kalk beginnt mit einer Oolithbank, darüber liegen etwa 450 m dunkelgrauer Kalk mit den bezeichnenden Fossilien des oberen Unterkarbons (Stufe des Productus giganteus) und über diesem etwa 100 m hellgrauer klotziger Kalk mit kleinformiger Fauna, der nach den Bestimmungen Gröbers der gleichen Stufe angehört. Dieser unterkarbonische Kalk bildet auf der ganzen 25 km langen Strecke vom mittleren Dschidschental bis zum Aulietaschberg das Hangende des Porphyrites und liegt, nach dem früher Gesagten, transgressiv über diesem.

Der Kalk des Aulietasch ist einigermaßen von dem im Dschidschen- und Chonochaital verschieden. Er wittert meist rot an, ähnlich Dolomitenbergen, doch finden sich auch beträchtliche Partien von dunkelgrauer und, in den höheren Lagen, hellgrauer Farbe. Der rote Kalk ist allgemein dickbankiger als der graue, der manchmal ganz dünnbankig wird. Fossilien fand ich nur im grauen Kalk: Productus giganteus var. edelburgensis Martin, Spirifer lineatus Martin, Athyris Royssii l'Eveillé, Productus longispinus Sowerby, Phillipsia sp., Lithostrotion sp., unbestimmbare Productus- und andere Brachiopodenreste, Korallen und Crinoideen. Streichen der Schichten N 80—85 W, Fallen 30—40° N, direkt südlich Koktalpaß am Nordfuß des Aulietasch 60° N. Am Südfuß des Berges ist ein Gebiet starker Störungen, die Schichten fallen stellenweise 30—40° S.

Der steile Nordabsturz des Aulietasch bildet zugleich die Nordgrenze des Kalkes, die am Fuß des Aulietasch in W-O Richtung verläuft bis zum Dschagistaibach. Hier biegt sie nach NO um und zieht in dieser Richtung weiter am Fuß eines Bergrückens entlang, dessen Schichten gefaltet sind und an einer Stelle eine Flexur bilden, quert den Koschutekbach und wendet sich dann wieder nach O, parallel dem Gebirgsrand. Diese Nordgrenze der Kalkzone dürfte ein Gebiet starker Störung sein. Steile bis senkrechte Verwerfungen (s. Fig. 2 und 3) scheinen das plötzliche, schroff abbrechende Ende der Kalkzone verursacht zu haben.

An der Nordgrenze des Kalksteins beginnt die letzte Zone des Profils, die der Angaraschichten. Es ist eine bunte Serie von Gesteinen, die unter diesem Namen zusammengefaßt werden. Die Route von Dschagistai bis Koktal am Nordfuß des Aulietasch quert sie in einer Breite von etwa 12 km und es ergibt sich auf dieser Strecke Gelegenheit, die wichtigsten Glieder der Serie und ihre Beteiligung an der Zusammensetzung des Komplexes zu untersuchen. Die Sedimente dieser Gruppe sind weitaus vorwiegend Sandsteine. Es sind meist rote Quarzsandsteine in verschiedenen Tönen, daneben auch gelblich weiße, fein- bis mittelkörnig. Rote Arkosensandsteine und Arkosen finden sich an einigen Stellen, besonders bei Koktal.

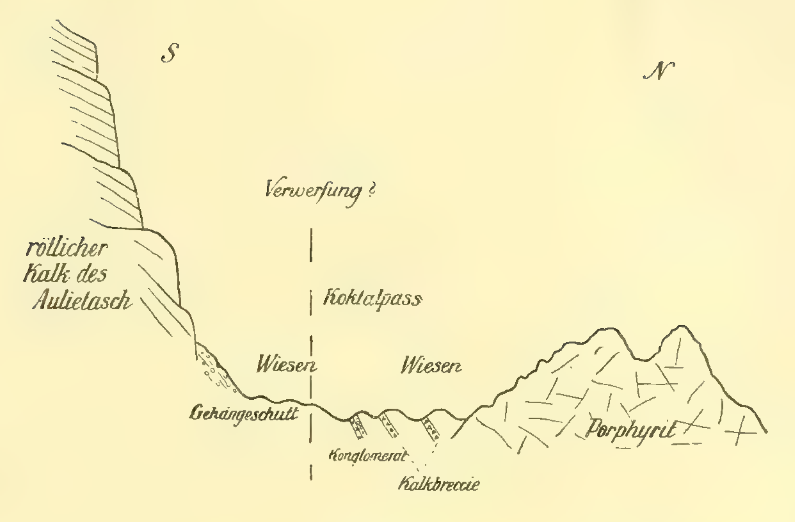


Fig. 2.

Koktalpaß von O. Grenze zwischen unterkarbonischem Kalk und Porphyrit der Angarazone (Temurlyktau).

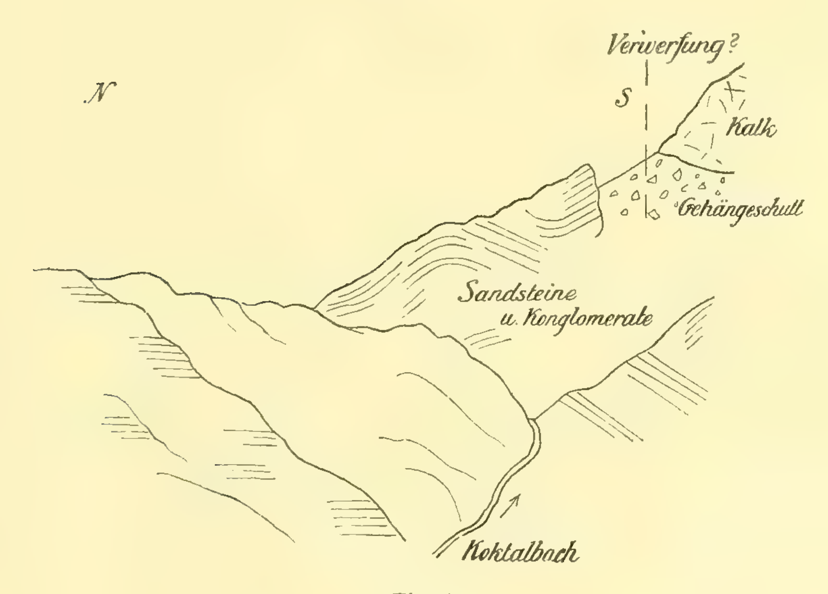


Fig. 3.

Blick von der Höhe westlich Koktal auf den Talriegel und den von der Kalkkette herabziehenden Rücken, Anlagerung der Angarasandsteine an den Kalk des Unterkarbons (Temurlyktau).

In viel geringerem Masse sind grüne Tonmergel und Tonschiefer vertreten, an einer einzigen Stelle sah ich grauen Kalkstein, etwa 40 m mächtig, 60° S fallend. Zu diesen Sedimenten treten nun noch Eruptivgesteine und von diesen hat ein rotbrauner Porphyrit die größte Verbreitung. Er ist in der Farbe ganz ähnlich dem Porphyrit südlich des Aulietasch, unterscheidet sich aber von ihm durch die isometrische Ausbildung der Plagioklaseinsprenglinge, die bei dem südlichen Porphyrit leistenförmig sind. Ein weiterer Unterschied ist in der häufigen Ausbildung von Grünsteinporphyrit und Grünsteinen gegeben, die bei dem anderen nur ganz spärlich auftreten. Selten findet sich ein dunkelgrünes, dioritartiges Gestein, an einer Stelle ist es beiderseits begrenzt von rötlichem und grünem Quarzit. Dunkelblaugrauer Basalt mit massenhaften grünen Flecken von Olivin tritt wenig südlich Dschagistai zu Tage, wo er tonigen Sandstein durchbrochen und gefrittet hat. Ähnlicher gefritteter Sandstein fand sich bei Koktal. Auch der Porphyrit hat intensive Einwirkung auf die Sedimente ausgeübt. So findet man öfters Breccien und Konglomerate mit Trümmern von Kalkstein, Tonschiefer, Quarz und Porphyrit, an einer Stelle sah ich einen 50 cm breiten Gang von Grünsteinporphyr und beiderseits Breccie mit Kalk-, Quarz- und Porphyrittrümmern, an einer andern Stelle ist Tonschiefer von Porphyrit gänzlich zertrümmert worden, stark gerötet und die Risse sind jetzt mit Kalkspat ausgefüllt. Öfters liegen über dem Porphyrit grobe Konglomerate (Tuffe) mit Porphyrittrümmern, der Porphyrit selbst ist manchmal fluidal entwickelt und schließt Trümmer der Nebengesteine ein. Mit der Annäherung an die Kalkzone nehmen die Kalktrümmer in den Konglomeraten an Masse zu und am Koktalpaß liegen zwischen dem Kalk des Aulietasch im S und dem Porphyrit im N des Passes Konglomerate und Breccien, die nur aus Trümmern von Kalk und Porphyrit bestehen (Fig. 2). Deutlich ist hier zu sehen, daß der Porphyrit jünger ist als der Kalk und daß der Kalk bereits trocken gelegt war, als die Porphyritergüsse erfolgten. Das beweist auch ein Durchbruch von Porphyrit durch den Kalk am nordwestlichen Hange des Aulietasch. Eine kleine Masse Grünsteinporphyr liegt hier mitten im Kalk, deren Durchbruch zur Bildung von Porphyrit- und Kalkbreccien Veranlassung gegeben hat, von welchen ich 50 m entfernt Stücke fand. Auch grüner Tonschiefer findet sich hier, woraus hervorgeht, daß die Angaraschichten oder wenigstens einzelne Glieder der Angaraschichten auch südlich der Nordgrenze des Kalkes, vielleicht in Buchten des Kalkfestlandes, abgesetzt wurden.

Die Sandsteine liegen an vielen Stellen horizontal, an anderen aber sind sie aufgerichtet und gefaltet. Von dem Hang westlich oberhalb Koktal hat man einen instruktiven Blick auf einen Teil der Sandstein- und Konglomeratzone mit ihren verschieden einfallenden Schichten. Deutlich sieht man hier auch, wie sich die Sandsteine an den Kalk im O anlehnen und von ihm weg nach N einfallen (Fig. 3).

Aus diesen Beobachtungen ergeben sich nun folgende Schlüsse über die geologische Geschichte dieses Gebietes:

Im Süden sehen wir ein altes, wahrscheinlich präkarbonisches Land (Granit), darüber oder nördlich davon breiten sich Porphyritdecken mit Tuffen aus, welche jünger sind als der Granit. Nach dieser Eruptionsperiode erfolgt die große Transgression des Meeres des oberen Unterkarbons, die mächtigen Kalkmassen der mittleren Zone des Profils gelangen zum Absatz. Nach dem Unterkarbon zieht sich das Meer rasch zurück, das Gebiet wird trocken gelegt, Kalk und Porphyrit werden bis zu großer Höhe aufgetürmt, zugleich

durch Verwerfungen am S- und N-Rand scharf von ihrer Umgebung geschieden. Von da ab bleibt die Kalkzone frei von Meeresbedeckung, ebenso die Granitzone. Nördlich dieses Gebirgslandes entsteht das Angarameer, entweder als im Ilibecken abgetrennter Rest des großen Meeres der Unterkarbonzeit oder nach vorübergehender Trockenlegung des Beckens durch die Wasser der einmündenden Flüsse neu gebildeter See. Seine Sedimente sind im Temurlyktau vorwiegend klastische Gesteine, die ihr Material aus dem Gebirge im S erhalten. In diese Zeit fallen bedeutende Ergüsse von Porphyrit, der den Sandstein durchbricht und am Kontakt mit dem Kalk im Süden diesen zertrümmert. Tonschiefer, die im dsungarischen Alatau zusammen mit Kieselschiefern nahezu die einzigen Sedimente dieser Gruppe sind, fehlen hier im Temurlyktau fast ganz, als neues Element tritt eine 40 m mächtige Kalkbank hinzu. Die Porphyritergüsse sind analog denen im Talkytal, ebenso die späteren Durchbrüche von Basalt und die Dioritgänge, die auf Granit in der Tiefe schließen lassen, aus dessen Aufarbeitung dann die Arkosen bei Koktal entstanden wären.

Bei dem vollständigen Mangel an Versteinerungen in den Angaraschichten dieses Gebietes ist eine genaue Feststellung des Alters unmöglich, wahrscheinlich dagegen ist, daß sie in ihrer Gesamtheit vom Perm bis zum Ende des Mesozoikums reichen.

Im Tertiär erfolgt eine weitere Landbildung, die Angarasee wird trocken gelegt, das ganze Land gefaltet, aber ein kleiner See, — klein im Vergleich zu der Ausdehnung der Angarasee, — bleibt doch noch zurück und füllt das heutige Ilibecken, und ebenso wohl auch das Tekesbecken, aus. Von den Gebirgen aus erfolgt durch die Gewässer, welche mit starkem Gefäll den Becken zufließen, bedeutender Transport von Gesteinsmaterial, und die mächtigen Gobisedimente, welche den Boden des Beckens bedecken und an seinen Rändern, besonders am Südhang des dsungarischen Alatau, kilometerweit aufgeschlossen sind, bezeugen die allmähliche Ausfüllung des Sees, der im späteren Tertiär oder im Quartär ganz verschwindet.

Zu den auf dem Wege über den Aulietaschpaß gemachten Beobachtungen sollen noch einige gefügt werden, die ich auf dem Rückwege nach Kuldscha Ende November, allerdings bei vollständig winterlichen Verhältnissen, gesammelt habe. Die Route ging über die Pässe Sumbe und Satl-Kasan, 30 km westlich des Aulietaschpasses. Nach Passieren einer Hügelzone aus Konglomeraten und Schottern, Ablagerungen des alten Tekessees, beginnt dort das eigentliche Gebirge in einer Höhe von etwa 1800 m mit ziegelrotem Biotitgranit, mit Neigung zu porphyrischer Ausbildung und Diabaspartien. Absonderung unregelmäßig dickbankig. Dieser Granit scheint in dem ganzen Gebiete vom Südrand über den Paß Sumbe bis Oü-Karagai das einzige anstehende Gestein zu bilden, wobei allerdings bemerkt werden muß, daß die letzten 4 oder 5 Stunden des Weges bereits in völliger Dunkelheit zurückgelegt wurden. Der Aul Oü-Karagai steht in einem hochgelegenen Becken, welches allseits von wenig höheren Bergkämmen eingeschlossen ist. Im Becken selbst liegen nicht sehr mächtige Schottermassen, die von den Seiten gegen die Mitte zu sich neigende Terrassen bilden. Auch dieses Becken war früher, wie so viele im Tian-Schan, von einem See erfüllt. Es scheint durchaus im Granit ausgefurcht zu sein, denn soweit es zu sehen war, bestehen die umgebenden Höhen aus Granit und da, wo der das Becken heute zum Kasanfluß entwässernde Bach die feste Unterlage entblößt hat, ist immer nur Granit angeschnitten.

Aus diesem Becken führt der Weg nach O, erst dem Bach folgend, dann, wo dieser

in eine Schlucht eintritt, nach links über die hier niedrige Umrandung des Beckens und hinab zu einem N-S ziehenden Seitental des Kasan. Hier steht roter Quarzporphyr an, der nach O mindestens bis zum Kasantal reicht, welches über einen trennenden Rücken erreicht wird. Eine kurze Schlucht vermittelt hier den Zugang (nach N) zu einem kleinen Becken. An dessen oberem Ende liegt grauer Kalk mit Fossilien. Es sind große Produkten (giganteus?), andere Brachiopoden, Korallen und Crinoideen. Die Schichten stehen senkrecht und streichen quer zum Tal, OSO—WNW. Der Bach kommt aus einer Schlucht, die in diesen Kalk in einer Länge von etwa 1500 m eingeschnitten ist. Auf dieser ganzen Strecke stehen die Schichten senkrecht oder fallen steil S, so daß es scheint, als ob tektonische Störungen diese Mächtigkeit des Kalkes hervorgebracht hätten. Dann wird das Tal wieder breiter, die Hänge sind schwächer geneigt und das anstehende bildet wieder der rote Granit, der bis zum Paß Satl-Kasan hinaufreicht. Auf der Höhe bildet er schöne Wollsackformen (Taf. 3, Fig. 4).

Auch die Nordseite des Gebirges wird von dem Granit gebildet, der, stellenweise von Diabaspartien durchsetzt, das einzige anstehende Gestein ist, bis zum Nordfuß der Kette. Dem eigentlichen Gebirge ist noch eine ungefähr 10 km breite Zone niedriger Hügel vorgelagert. Sie bestehen aus rotbraunem Porphyrit und Porphyrittuff, in horizontalen Lagen abgesetzt. Vor der Stadt Kaldschat (1200 m) ist das Ende dieser Zone erreicht, es folgt nun der geschichtete, geröllführende Löß des Ilibeckens, in der gleichen Ausbildung, wie er von Dschagistai beschrieben wurde.

So zeigt sich in diesem Teil des Temurlyktau ein ziemlich einfacher Bau. Er besteht fast nur aus Granit, der im oberen Kasantal von einer effusiven Facies, dem Quarzporphyr, überdeckt ist. Auf diesem und später direkt auf dem Granit liegt dann, wahrscheinlich transgressiv, der Kalk mit den Fossilien, der wohl der gleichen Stufe angehört wie der im Chonochai- und Dschidschental. Nördlich des Granits liegt noch eine Zone von Porphyrit, die den Porphyriten nördlich des Aulietasch gleichgestellt werden muß.

Chalyktau.

Die bisher geschilderten Strecken sind von unserer Expedition nur ganz flüchtig (Talkytal), oder nur als Hin- und Rückweg zu und von dem eigentlichen Arbeitsgebiet (Temurlyktau) durchreist worden. Es blieb mir daher nichts übrig, als mich streng an die Route haltend, das auf ihr Gesehene aneinander zu reihen und, soweit möglich, in logische Verbindung zu bringen.

Anders liegen nun die Verhältnisse in dem Gebiet, dem unsere Haupttätigkeit galt. Es ist dies der Hauptkamm des Tian-Schan vom großen Musarttal im W bis zum Quellgebiete des Koksu im O mit einer Länge von 200 km. Die Untersuchungen erstrecken sich auf die gesamte Nordabdachung vom wasserscheidenden Kamme des Chalyktau (so heißt dieser Teil des Tian-Schan) bis zur Tekesebene. Dieses Gebiet wurde in den drei Haupttälern des Koksu, des Agias und des großen Musart durchreist und es gelang dabei, teils in den Haupt-, teils in bedeutenden Seitentälern mehrere Male bis zum Hauptkamm vorzudringen. Auf diese Weise ist es mir möglich geworden, eine Anzahl von Querprofilen durch die Nordseite des östlichen zentralen Tian-Schan aufzunehmen und durch deren Kombination zu einer Vorstellung von dem Bau dieses Gebietes zu gelangen, deren karto-

graphische Darstellung auf Tafel 1 sich findet. Es ist selbstverständlich, daß diese Skizze nicht allen Teilen des Gebietes gerecht werden kann und daß spätere Forschungen manches anders erweisen werden.

Ich werde im folgenden die in den einzelnen Tälern gemachten Beobachtungen bringen, wobei jedesmal am Nordrand des Chalyktau begonnen und stromaufwärts vorgegangen werden soll, bis zum Hauptkamm im S. Es sei gleich hier bemerkt, daß der geologische Bau dieses großen Gebietes im allgemeinen überall der gleiche ist und sich eng an das westlich anstoßende, von Keidel bereiste und beschriebene Gebiet des Khan Tengri und seiner weiteren Umgebung nach W anschließt. Eine Zusammenfassung der auf den einzelnen Routen gewonnenen Anschauungen über die Geologie des bereisten Gebietes wird am Schlusse gegeben werden.

Im beginne im O mit dem Flußgebiet des Koksu.

Koksugebiet.

Von den Flüssen, welche die Nordseite des Chalyktau entwässern, ist der Koksu nach Wassermenge, Länge des Laufes und Größe des Flußgebietes der bedeutendste. Er entspringt im O an der Wasserscheide gegen das große Yuldustal und fließt, nachdem er durch Zuflüsse rasch ansehnliche Größe erreicht hat, in westsüdwestlicher, später in westlicher Richtung im Längstal etwa 100 km weit. Auf dieser Strecke erhält er bedeutende Zuflüsse, besonders links vom reichvergletscherten Hauptkamm des Chalyktau. Das Tal ist, vor allem in der unteren Hälfte, meist eng und schluchtartig. Noch mehr gilt dies für das zweite Stück des Laufes des Koksu, in dem er rechtwinklig zum bisherigen Verlauf im Quertal die O-W verlaufenden Ketten durchbricht bis zum Rande des Gebirges. In dem breiten Tekestal mündet der Koksu in den Tekes, der die Gewässer des ganzen Nordabfalles des Chalyktau aufnimmt und dem Ili zuführt.

Die Länge des Koksuquerlaufes beträgt 60 km. Der auf große Strecken schluchtartige Charakter des Tales, Quer- und Längstal, erschwert die Bereisung sehr. Große Strecken des unteren und mittleren Tales sind gar nicht gangbar und man muß, um in das obere Koksutal zu gelangen, aus dem untersten durch Seitentäler und über mehrere Pässe ziehen, um so die unwegsamen Partien zu umgehen.

Unteres Koksugebiet und Attuintau.

In seinem Unterlauf durchbricht der Koksu eine breite Kalkzone. Beim Eintritt in das Koksutal, vom Tekestal aus, ist der Kalk gut aufgeschlossen. Er zeigt zunächst keine Schichtung, ist dunkelgrau und enthält schlechte Reste von Fossilien: Brachiopoden, Crinoideenstielglieder, Fenestella. Auf der rechten Flußseite ist ein Basaltausbruch erfolgt: Bomben von dunkelgrauem Basalt vom Typus eines Camptonits, petrographisch sehr ähnlich dem Basalt aus dem südlichen Temurlyktau, sind in den Kalk eingebettet sowie in dunkle graue bis grüne, harte Gesteine, die als Tuffe des Basalts betrachtet werden müssen. Sie liegen weiter oben im Tal, wo der Kalk geschichtet ist, konkordant mit und zwischen den Kalkschichten. Der Kalk ist am Kontakt metamorphosiert, er ist mit grünem Material aus den Tuffen imprägniert, stark zerrüttet, zum Teil gerötet, schiefrig und wird mit zunehmender Entfernung bankig, zugleich dunkler bis schwarzgrau. Dort, wo der Kalk

geschichtet ist, sieht man, daß er zusammen mit den Tuffen gefaltet ist. Beide streichen hier N 35 O und fallen mit 40° N, weiter nach S legen sie sich flacher, ebenso wie der Kalk auf der linken Seite des Flusses, der weiter nördlich bei gleichem Streichen mit 80° N fällt. Der tangentiale Druck, dem der Kalk hier ausgesetzt war, war ziemlich groß, das beweist eine stark gefaltete und zerrüttete Partie auf der rechten Flußseite. Neben Falten treten auch Verwerfungen auf, so ist der mit 45° S fallende Kalk der rechten Seite unter der Mündung des Kapsaljantales durch eine steile Verwerfung von dem nördlich folgenden getrennt und streicht N 85 O. Jenseits, also südlich der Mündung des Kapsaljantales, sieht man zu beiden Seiten des Koksu den Kalk, links horizontal liegend, rechts ohne erkennbare Schichtung. Nach Süden reicht der Kalk bis zum Nordende des großen Beckens im Koksuquertal und es hat somit die Kalkzone hier eine Breite von 15—17 km. Diese große Ausdehnung kommt dadurch zu stande, daß der Kalk, von kleineren Störungen abgesehen, wie ich schon einige vom untersten Talabschnitt erwähnt habe und wie sie auch weiter oben an mehreren Stellen zu sehen sind, im großen und ganzen horizontal liegt und hier, am Rande des Gebirges in seiner Gesamtheit nur geringen Zusammenschub erfahren hat.

Wie weit sich der Kalk südlich des Tekes nach W fortsetzt, ist nicht festzustellen, da hier die mächtigen Ablagerungen des alten Tekessees das anstehende Gestein verhüllen. Diese alten Seeablagerungen sind im Tekesbecken an verschiedenen Stellen erhalten geblieben. Auch im unteren Koksutal sind sie anzutreffen. Der Kalk, den der Koksu durchbricht, ist hier in geringer Höhe über dem heutigen Flußniveau abradiert. An der Mündung des Kapsaljantales beträgt die Höhe der Abrasionsfläche über dem Koksu etwa 20 m, weiter talauf wird der Höhenunterschied etwas größer. Auf der Abrasionsfläche liegen mächtige Geröllmassen, Ablagerungen eines großen Sees, der in früherer Zeit das ganze breite Tekestal ausfüllte. In seinem Unterlauf ist das Kapsaljantal, welches von rechts in den Koksu mündet, mit Schotter erfüllt. Die Gerölle dieses Schotters sind alle wenig gerundet, meist nur kantengerundet, und stammen alle von Gesteinen, welche im Kapsaljantal selbst anstehen, also von Kalken, Porphyriten, Quarziten. Teilweise sind die Schotter konglomeriert. Besonders gut ist dies und ihre Zusammensetzung an dem rechten Hang des untersten Kapsaljantales zu sehen. Es kommen hier zwischen den geröllreichen härteren Bänken auch weichere vor mit sehr wenig und kleinen Geröllen und viel lössigem Bindemittel.

Auf diesen nahezu horizontal liegenden Kapsaljanschottern liegen nun erst die Tekesschotter konkordant. Sie beginnen mit einer 3 m dicken, harten Nagelfluhbank, welche infolge ihrer größeren Festigkeit über die liegenden Schotterbänke vorragt. Über dieser Bank kommen noch weitere, lockere Lagen von Schotter. Diese Tekesschotter unterscheiden sich von den Kapsaljanschottern dadurch, daß die Gerölle alle viel größer und stärker gerundet sind und aus Gesteinen des Koksutales (Granite etc.) bestehen, welche im Kapsaljantal und daher auch in den Kapsaljanschottern nicht vorkommen. Das Zement tritt an Masse sehr zurück. Wir sehen also hier über dem abradierten Kalkgebirge die Schotter eines Flüßchens (Kapsaljan), die keinen weiten Transport erfahren haben und daher nur geringe Rundung aufweisen, überdeckt von den von weiterher transportierten Schottern eines größeren Flusses (Koksu). Der Absatz der beiden Schotter erfolgte in einer Zeit, in der das Tekestal von einem See erfüllt war, dessen Spiegel mindestens so hoch lag als die Oberfläche der Schotter, also mindestens 40 m über dem heutigen Koksu. Änderungen

in der Wasser- und damit in der Geröllmenge oder eine Verlegung des Einflusses des Koksu in den Tekessee mögen die Überlagerung der Kapsaljanschotter verursacht haben.

Kehren wir wieder zu der Besprechung der Kalkzone zurück! Es wurde schon erwähnt, daß ihre Fortsetzung nach W, südlich des Tekes, durch die Absätze des alten Tekessees verhüllt wird. Daß sie sich tatsächlich nach W fortsetzt, sieht man am Steilrand, den die Seeterrasse gegen das heutige Tekestal bildet. Hier ist an einigen Stellen die Unterlage der Schotter entblößt und man sieht Kalk anstehen.

Nördlich des Tekes dagegen setzt sich die Kalkzone als geschlossene Masse fort im Attuintau, einem niedrigen kleinen Gebirgslande, welches sich ziemlich isoliert aus der Tekesebene erhebt. Der Kalk hat hier an einer Stelle am Rand gegen den Tekes, in einer kleinen Schlucht, Fossilien geliefert, aus denen hervorgeht, daß der Kalk der im Tian-Schan weit verbreiteten Stufe des Productus giganteus, also dem oberen Unterkarbon, angehört. Es wurden gefunden: Productus giganteus mut. edelburgensis, Productus striatus, Cyathaxonia dissimilis und unbestimmbare Productusreste. Die Fossilien sind verkieselt, aber schlecht erhalten, da sie meist zerbrochen sind. Der Kalk ist braun, geschichtet, Streichen W-O, steil S fallend. In einiger Entfernung von dem Fossilfundplatz fällt er schwach N und dies scheint die Hauptmasse des Kalkes zu tun, denn am Westende des Attuintau ist überall, wo der Kalk Schichtung zeigt, bei ungefährem W-O Streichen schwaches Einfallen nach N zu sehen. Der Kalk führt außer den verkieselten Fossilien auch Hornsteinkonkretionen und ist meist braun oder grau bis weiß, lokal aber auch rot gefärbt. Diese rote Färbung, zusammen mit stellenweise auftretender Zertrümmerung und Breccienbildung, ist durch Porphyrit hervorgebracht. Es ist nämlich die ganze Kalkzone, nicht nur im Attuintau und Koksutal, sondern auch am Südrand des Tekestales und in der Fortsetzung nach O im Kapsaljantal und auf dem Karabulaksyrt begleitet und durchbrochen von Porphyritergüssen. Sie haben den Kalk zertrümmert, gerötet, disloziert, marmorisiert und stellenweise, so im Koksutal, dolomitisiert. Besonders auf der Südseite des Attuintau ist die Verbindung des Kalkes mit dem Porphyrit und die Einwirkung des Porphyrites auf den Kalk prächtig zu sehen. Man trifft hier ganz regellosen Wechsel von Kalk und Porphyrit, der auf der Höhe des Attuintau, die ganz aus Porphyrit besteht, säulenförmig abgesondert ist, ferner einzelne mitgerissene Schollen von Kalk im Porphyrit schwimmend, an anderen Stellen wieder Eindringen des Porphyrites zwischen die Kalkschichten und dadurch Vortäuschung von Wechsellagerung, während doch in Wirklichkeit der Porphyrit jünger ist als der Kalk und erst nach dessen Verfestigung und Trockenlegung emporgestiegen ist.

Der ganze Attuintau ist von Kalk und Porphyrit aufgebaut und der Kalk ist zum Teil bei dem Empordringen des Porphyrites, zum Teil erst später zusammen mit diesem gefaltet und disloziert worden. Gut sind solche Störungen auch zu sehen am Westende des Attuintau (Fig. 4). Der Tekesfluß wird hier durch den Attuintau aus der NO- in SO-Richtung gedrängt, welche er bis zur Vereinigung mit dem Agias beibehält. Ein kleiner Hügel erhebt sich in dem Landstück zwischen Tekes und Agias. Er besteht aus grauem, dünnbankigem Kalk, N 35 O, 40 N. Der Kalk ist hart, kristallinisch, führt schwarzen Hornstein in Lagen und Linsen und enthält schlechte karbonische Fossilien (Productus und andere Brachiopoden, Korallen). Er setzt sich fort links des Tekes im Attuintau, denn dort ist eine geschichtete Partie grauen Gesteins mit gleichem Fallwinkel zu sehen. Weiter nach SO

sieht man folgendes: erst kommt ein Stück ohne Aufschluß, danach eine klotzige rötliche, später grünliche Partie, nach ihr 15 N fallendes rötliches Gestein, später kommen steil N und S fallende ebensolche Schichten, welche vielleicht die Reste eines zerbrochenen Gewölbes sind. Konkordant auf dem Südflügel liegen allmählich sich flacher stellende Schichten von grünlicher Farbe. Diese rötlichen und grünlichen Gesteine sind Porphyrit und Tuffe, und diese stehen noch am ganzen Südrand des Attuintau, nördlich des Tekes, aber auch südlich des Flusses in isolierten Partien und stark gestörter Lagerung an, sind aber auf dem südlichen Ufer meist durch die Seeterrasse verdeckt.

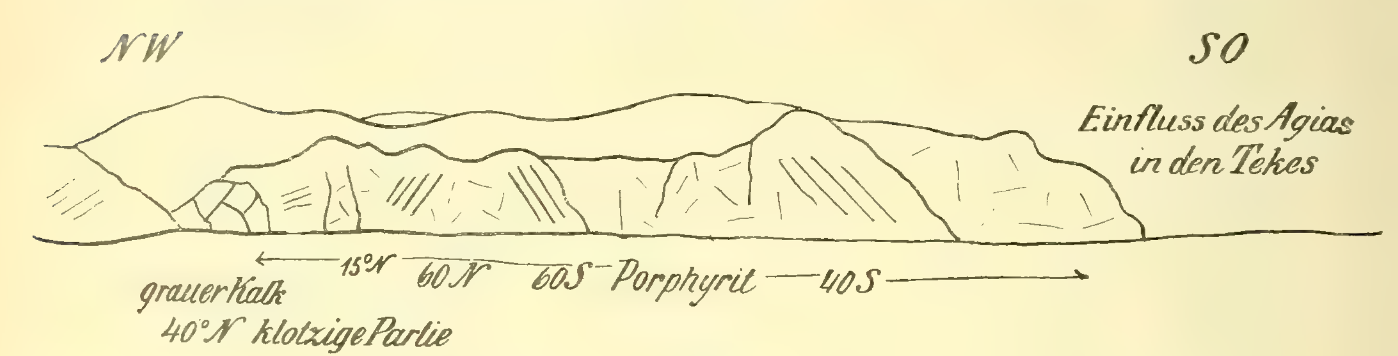


Fig. 4.

Westende des Attuintau. Unterkarbonischer Kalk und jüngerer Porphyrit.

Vom Einfluß des Agias in den Tekes ab bis zum Koksu, etwa 65 km weit, ist diese Terrasse erhalten. Sie erhebt sich bei dem Einfluß des Agias 25 m über das heutige Flußniveau, nach Ost, flußabwärts nimmt ihre Höhe, da ihre Oberfläche ziemlich horizontal ist, zu und erreicht bei der Mündung des Tschulakterektales 45 m, weiter flußab 60. Die Terrasse bricht mit steilen Wänden zum Tekestal ab, welche ihren Bau gut enthüllen. Sie besteht aus geschichteten Schotterlagen mit ziemlich großen Geröllen, die oberen Partien haben im allgemeinen geringere Korngröße. Sand in Lagen und Schmitzen ist ganz unregelmäßig zwischen den Geröllagen verteilt. Die Decke bildet geschichteter, geröllführender Löß von gelbbrauner Farbe (Taf. 5, Fig. 2).

Östlich vom unteren Koksu setzt der Kalk das ganze Gebiet vom Tekestal im N bis zum Fuß des höheren Gebirges im S zusammen. Er bildet hier einen der im Tian-Schan so häufigen Syrte, eine Peneplain. Das Kapsaljantal, welches in den Syrt eingeschnitten ist, bietet gute Gelegenheit, Beobachtungen über Beschaffenheit und Lagerung des Kalkes zu machen. Man kann hier drei Arten von Kalk unterscheiden: schwarzen, lebhaft mit Salzsäure brausenden, dunkelgrauen, schwächer brausenden, z. T. mit roten Flecken und Linsen, hell- bis weißgrauen mit Hornstein, teilweise fein geschichtet und dann meist Fältelung zeigend, die auf starken Druck hinweist. Stellenweise finden sich in den beiden grauen Arten stark zertrümmerte Partien, die durch Kalkspat ausgeheilt sind und beim Anschlagen nach den Trümmern zerfallen. Die ganze Kalkmasse ist von zahlreichen Klüften und Spalten durchsetzt, welche z. T. Verwerfungen sind. In solchen kommen auch Reibungsbreccien vor. Manche Verwerfungen haben starke Diskordanzen der Lagerung erzeugt, so streichen im oberen Teil des Kapsaljantales die Schichten an einer Stelle links

des Baches W-O und fallen mit 45° S, rechts dagegen bilden sie einen Sattel, dessen Achse N-S streicht und dessen Flügel mit 20 bzw. 50° nach O und W einfallen.

Kommt man vom Kapsaljantal auf die Höhe des Syrtes (2300—2600 m), so werden die Aufschlüsse spärlich, denn der ganze Boden ist mit hohem Gras und teilweise mit Wald bewachsen und nur an den kleinen Bächen, welche manchmal passiert werden und an einigen Hügeln wird das anstehende Gestein sichtbar. Es ist stets Kalk und hie und da herumliegende Steine sind gleichfalls immer Kalk. Er ist meist stark kristallinisch und läßt nur selten Fossilien (Korallen) in sehr schlechter Erhaltung erkennen. In dem ganzen Gebiete zeigt der Kalk, wo immer er geschichtet ist, gestörte Lagerung: kleine Mulden und Sättel und verschiedenes Streichen und Fallen. Dazu kommen bei dem Aul Kara-bulak auf der Höhe des Syrtes wieder stärkere Spuren von kontaktmetamorpher Beeinflussung durch den Porphyrit, wie sie schon vom untersten Koksutal erwähnt wurden. Es lassen sich hier verschiedene Abarten des Kalkes feststellen und man erhält folgende Reihe vom normalen Sediment bis zum stark metamorphosierten Gestein: schwarzer dichter — schwarzer schiefriger — grauer schiefriger — grauer körniger Kalk, z. T. dolomitisch — hellgrauer kristallinischer, z. T. dolomitischer — weißgrauer und weißer Marmor und Dolomitmarmor. An einem Stück des weißgrauen Marmors fand sich eine kleine Masse von Malachit. Der Porphyrit wurde auf dem Syrt nicht gefunden, nur ein Stück einer rotbraunen Eruptivbreccie nördlich vom Aul Karabulak läßt vermuten, daß die Marmorisierung des Kalkes auch hier dem Porphyrit zuzuschreiben ist.

Dagegen wird dies zweifelhaft in dem südöstlichen Teile des Syrtes. Hier führte nämlich unser Weg, 7 km östlich vom Aul Karabulak, an einer kleinen Granitinsel vorbei, die rings von Marmor umgeben ist. Der Granit ist teils grob-, teils mittelkörniger Biotitgranit, stark zersetzt und verwittert und zwar mehr als der umgebende Kalk, sodaß dieser ringsum höher aufragt als der Granit. Im Granit ein Gang von grünem Lamprophyr. In einiger Entfernung steht wieder normaler Kalk an, der 20—40° N fällt. Wahrscheinlich hat hier der Granit die Marmorisierung des Kalkes verursacht.

Der Weg führt weiter nach SO über die schwachgewellte Hochfläche, die sich bis an den Fuß der granitischen Kurdaikette im S erstreckt. Plötzlich aber steht man am Rand einer tief eingerissenen Schlucht, der des Kurdaiflusses. Er kommt aus der Granitkette, tritt an deren Ende in den Syrt, wendet sich hier scharf nach W und durchbricht den Syrt in einem 40 km langen, unpassierbaren Cañon in vielfachen Windungen. Der Weg führt zum Kurdaital herab und erreicht es etwas oberhalb des Eintrittes des Flusses in den Syrt. Der Syrt endet mit einer steilen, W-O verlaufenden Wand (Taf. 4, Fig. 4). Ein kleines Tälchen hat sich hier gebildet, das genau dem Fuß der Kalkwand entlang zieht, sodaß hier unten die Grenze zwischen Syrt und Granitkette scharf hervortritt, während auf der Höhe die Moränen und Schutthalden, die das höhere Gebirge umsäumen und einen mehr allmählichen Übergang herstellen, die direkte Grenze verhüllen. Während daher oben südlich des Kalkes sofort Granit zu kommen scheint, erkennt man unten am Fluß, daß zwischen Kalk und Granit noch ein weiteres Gestein liegt. In einer Breite von etwa 150 m treffen wir hier rotbraunen Quarzporphyr und verkieselten Quarzporphyrtuff zu beiden Seiten des Kurdaiflusses und im Fluß selbst. Es geht daraus hervor, daß Syrt und Granitgebirge durch eine steile oder senkrechte Verwerfung, welche in W-O-Richtung verläuft, voneinander getrennt sind. Auf dieser Verwerfung ist der Quarzporphyr empor-

gedrungen. Er ist also jünger als der Kalk, somit, wenn wir für den Kalk oberes Unterkarbon annehmen, postunterkarbonisch.

Bevor wir den Syrt verlassen und in das Granitgebirge gehen, erscheint es angezeigt, ihn 40 km weiter westlich zu queren, wo ihn der Koksu in seinem Unterlauf durchbricht. Das unterste Stück des Koksutales haben wir bereits kennen gelernt, es liegt im Kalk, der am Eingang in das Tal von Basalt, talauf dann an vielen Stellen von Porphyrit durchbrochen ist. Man trifft hier, am Fluß aufwärts gehend, einen fortwährenden Wechsel von Kalk und Porphyrit. Meist rotbrauner, aber auch hellbrauner und grüner Porphyrit, sowie an einer Stelle dunkelvioletter Porphyrit mit massenhaften hellgrünen Plagioklasen, sind in den Kalk eingedrungen und haben ihn z. T. dolomitisiert, z. T. zertrümmert und zu Breccien umgewandelt.

Hier findet sich, auf der rechten Flußseite in einer Erstreckung von 40 m anstehend, ein hartes Konglomerat, das bei wenig Zement meist aus Geröllen von Kalken, z. T. Hornstein führend, ferner von Kalkbreccien, rotem Sandstein und rotbraunem Porphyrit besteht. Dieses Konglomerat ist deutlich geschichtet und zeigt bei 35° N Fallen N 30 W Streichen. Es ist ein ziemlich junges Gebilde, wohl eine Ablagerung des Koksuflusses, die disloziert wurde und einen Beweis für junge tektonische Bewegungen liefert, welche im Tekesbecken, zu dem, im weiteren Sinn, auch das unterste Koksutal gehört, noch an verschiedenen Stellen nachgewiesen werden sollen.

Weiter oben ist eine 50 m breite Zone von verschiedenen roten Sandsteinen, bald gröber, bald feiner körnig, zwischen den Sandsteinschichten und unter ihnen liegen Schichten von roter Kalkbreccie, über den Sandsteinen liegt hellgraue Kalkbreccie und nach dieser kommt ein mittelkörniger Quarzporphyr mit ziegelrotem Orthoklas und dunklem Biotit, der den Kalk gehoben hat, so daß er schwach vom Zentrum nach den Seiten zu einfällt. Dabei ist wieder der Kalk stark zertrümmert, gerötet und zu Breccien zusammengeschweißt worden, die bei der Mündung des Kurdai an beiden Seiten des Koksu und im Fluß selbst anstehen, hier kleine Klippen bildend. Über diesen Breccien und in ihnen liegen Quarzite, ebenfalls durch die Einwirkung des Quarzporphyrs entstanden.

Ober der Mündung des Kurdai fließt der Koksu durch eine 6 km lange Schlucht, die analog der des Kurdai in den Syrt eingerissen ist und die gleichen Verhältnisse bietet. Man sieht von der Höhe des Syrtes aus, daß von Porphyrit durchbrochener Kalk das Anstehende in der Schlucht bildet, und daß diese beiden Gesteine zusammengefaltet sind. Oberhalb der Schlucht durchfließt der Koksu ein altes Seebecken von $1^1/_4$ km Breite und 7 km Länge (Taf. 4, Fig. 1).

Überraschend ist der erste Anblick dieses Beckens. Stundenlang reitet man auf der eintönigen, sanft gewellten Terrasse des alten Tekessees dahin und plötzlich steht man am Rand der Terrasse und blickt hinunter in das vom tiefgrünen Koksu in Windungen durchflossene Becken. Lockere, leicht erodierbare Ablagerungen von Schottern, Sanden und Löß kleiden den Boden und die Hänge aus, die infolgedessen stark zerfurcht sind. Das ganze Becken liegt (Taf. 4, Fig. 2), mit Ausnahme des Nord- und Südrandes, in den Ablagerungen des alten Tekessees. Auf diesen liegen die Sedimente des späteren Koksusees. Am Nordende schiebt sich von links ein Riegel gegen das Becken vor, und der an seinem Fuße vorbei strömende Fluß hat hier eine Steilwand geschaffen, welche die Koksusedimente gut sehen läßt: 25 m horizontal liegende lockere Sandsteinschichten, darüber 8 m Schotter-

lagen und zuletzt 20 m geschichteter Löß. Rechts sieht man anstehendes Gestein (Porphyrit oder Granit?) in zwei verschiedenen Höhen horizontal abradiert. An den Seiten des Beckens sind, meist gut erhalten, die Reste von 4 Terrassen zu sehen. Die unterste liegt ganz wenig über dem Fluß, die zweite 2—3 m höher. Sie nimmt etwa die Hälfte des ganzen Beckens ein. Die 3. und 4. liegen je 10 m höher. Die 4. ist links in der ganzen Länge des Beckens als schmaler Saum erhalten, in größerer Breite noch an einem Teil des rechten Gehänges. Hier sieht man, daß sie ein Gefäll von ca. 10° gegen die Mitte des Beckens hat.

Das ganze Becken liegt noch im Gebiet des Syrtes. Erst am Südende des Beckens, wo Nagelfluh auf festem Gestein liegt, ist der Rand der Hochfläche erreicht und wir stehen hier an der Stelle, die dem Syrtrand im Kurdaital entspricht (Taf. 4, Fig. 3). Die Grenze zwischen den beiden morphologisch so verschiedenen Teilen des Gebirges ist hier nicht so deutlich sichtbar wie dort. Jedoch ergibt sich eine wichtige Übereinstimmung insofern, als auch hier zwischen Kalk und Granit Quarzporphyr sich einschiebt. Die Breite dieses Vorkommens ist allerdings viel beträchtlicher als im Kurdaital, aber wie dort finden sich Tuffe des Quarzporphyrs. Der Porphyr selbst ist von massenhaften Grünsteinpartien durchsetzt. Im weiteren Verlauf geht der Porphyr, in dem auch an einer Stelle Diorit aufsetzt, in Granitporphyr mit deutlicher, 80° N fallender Klüftung in dünne Bänke und dann in roten grobkörnigen Biotitgranit über, der ebenfalls reichlich Grünsteinpartien enthält.

Das nun folgende Stück des Koksulaufes liegt im Granit. In enger Schlucht durchbricht der Fluß in gewundenem Lauf das Gebirge, bald rechts, bald links wenig über dem heutigen Flußniveau Platz für kleine, ebene Terrassen lassend, welche mit Gras bewachsen sind und von den Kirgisen als Weideplätze benützt werden. Das Gefäll des Flusses ist auf der ganzen begangenen Strecke nur gering, das Wasser fließt ruhig dahin und füllt öfters beckenartige Weitungen aus (Taf. 6, Fig. 1).

Bald nach dem Eintritt in den normalen Granit gelangt man in ein zweites altes Seebecken. Es hat 3 km Länge und 500 m Breite. Nach unten ist es durch von beiden Seiten gegen den Fluß vortretende Granitriegel abgesperrt. Der Riegel rechts bildet eine kleine Halbinsel und hier zeigt der von Grünstein in Gängen und Lagen durchsetzte Granit neben der bei dem porphyrischen Granit schon erwähnten 80° N fallenden Kluftrichtung eine zweite weniger deutlich ausgeprägte, welche mit der ersten einen Winkel von etwa 70° bildet und schwach nach S einfällt, während weiter flußaufwärts die Klüftung 80° S fällt. Die Oberfläche des Granits ist schräg abradiert, auf ihr liegt konkordant mit der Oberfläche des Granits, also etwa 25° SO fallend, 10 m mächtiger geschichteter Löß, geröllführend, und über diesem, 6 m mächtig, horizontale Nagelfluh, Ablagerungen des kleinen Sees, der das Becken einst ausfüllte. Auch an anderen Stellen sind solche Ablagerungen erhalten, z. B. am unteren Ende sandiger Löß mit Geröllagen mit einer Mächtigkeit von 80 m über dem Fluß und an der linken Seite, etwa in der halben Länge des Beckens. Hier sieht man folgende Schichten: unten am Fluß liegt blaugrüner, geschichteter, geröllführender Löß (1) (Seelöß), über diesem eine Lage von ungeschichtetem Schotter (2). Beides ist auch am rechten Ufer zu sehen. Dann folgt gelbbrauner, schwach gegen die Mitte des Beckens fallender Seelöß (3), darüber liegt wieder blaugrüner Seelöß (4), gleichfalls mit kleinen Geröllen wie (1), in ihm eine feinsandige Partie mit ganz wenigen sehr

kleinen Geröllen und neben dieser, in gleicher Höhe, Seelöß mit ziemlich viel Geröllen. Zuletzt kommt wieder gelbbrauner Seelöß mit sehr viel Geröllen (5) und das Ganze ist mit einer dünnen Decke von hellbraunem, äolischem Löß (6) überzogen. Wir sehen also hier eine Ablagerung in ruhigem Wasser (1), darüber die Ablagerungen einer Zeit reichlicher Geröllzufuhr (2), in der vielleicht der See ziemlich aufgefüllt wurde. Danach kommen wieder ruhigere Zeiten (3, 4), später nimmt die Geröllmenge wieder zu (5), der See entleert sich schließlich durch die Tieferlegung seines Abflusses und auf den trocken gelegten Sedimenten schlägt sich äolischer Löß nieder (6) (Taf. 5, Fig. 3).

Die Hoffnung, in diesem Aufschluß Versteinerungen zu finden, erfüllte sich nicht. Die sichtbare Mächtigkeit beträgt 80 m; daß aber die Seeablagerungen hier noch in die Tiefe sich fortsetzen, ersieht man daraus, daß der Fluß nirgends in dem Becken die granitische Unterlage entblößt hat, sondern ganz in diesen jungen Sedimenten fließt. Auch auf der rechten Seite ist Seelöß aufgeschlossen und auf seiner schwachgewellten Oberfläche liegen Flußschotter ausgebreitet. Wie am unteren Ende, so ist das Becken auch oben durch einen Granitriegel abgeschlossen, und auch auf ihm liegt Flußschotter, der bei früher höherem Wasserstand abgesetzt wurde.

Das nächste Talstück ist wieder eine Schlucht, welche noch enger ist als die untere. Oberhalb der Schlucht erweitert sich das Tal und erlangt eine Breite von 200 m. Hier liegen bedeutende Schottermassen, die den anstehenden Granit nur an wenigen Stellen zu Tage treten lassen. In diesem Teil des Tales treten die ersten sicheren Moränenreste auf. Links sind Reste von Grundmoränen erhalten mit großen, stark gerundeten Blöcken, welche bis 50 m über dem Fluß sich finden. Rechts und bald auch links sind Terrassenreste erhalten. Es sind auf der rechten Seite zwei übereinander liegende, deutlich geschiedene Terrassen. Die äußere hat eine Höhe von 50 m über dem Fluß, an sie lehnt sich, bis zur halben Höhe reichend, eine innere. Beide bestehen, soweit erkennbar, aus sandig-lehmigem Material mit Geröllen (Seelöß?), in dessen oberen Partien einige große eckige Blöcke (von einem Bergsturz?) eingebettet sind. Zu oberst liegt geschichteter Schotter. Flußaufwärts lassen sich die beiden Terrassen verfolgen als zwei in derselben Höhe (50 bzw. 25 m über dem Fluß) sich erstreckende Felsleisten, welche zum Fluß und zur unteren Felsleiste mit sehr steilen Wänden abbrechen. Weiter nach S setzen sie sich wieder als Schutterrassen fort. Es scheint, als ob der Koksu in diesem breiteren Talabschnitt früher eine dritte seeartige Erweiterung gebildet habe.

Es folgt wieder eine schuttfreie enge Schlucht mit hübscher Abschleifung des Granites durch das fließende Wasser. Der früher höhere Wasserstand hat Terrassen oberhalb der Schlucht zu beiden Seiten geschaffen. Am oberen Ende der Schlucht sieht man wieder, diesmal links, einen Rest der äußeren, 50 m hohen Terrasse, aus horizontaler Nagelfluh. Rechts liegt blaugrüner, geschichteter Löß, bis 15 m über dem Fluß. Auf ihm breitet sich ein Schuttkegel aus. Auch links liegen Schuttkegel auf der Terrasse, welche aus den engen steilen Furchen der Gehänge gespeist werden.

Die Neigung der beiderseitigen Hänge ist sehr steil, das ganze Tal hat typische Trogform und man kann drei Tröge unterscheiden. Die Wände des ersten, äußersten, bilden die Granitwände selbst, die des zweiten bilden die Steilabstürze der 50 m Terrasse und die des dritten diejenigen der 25 m Terrasse. Moränenreste habe ich außer dem einen oben erwähnten nicht gesehen. Die deutliche Trogform beweist jedoch zur Genüge, daß der

Koksugletscher das Tal in der Eiszeit bis weit hinaus, vielleicht bis vor das erste Seebecken, erfüllt hat. Daß nicht mehr Moränen erhalten geblieben sind, kann nicht wundernehmen, wenn man bedenkt, daß mit dem Rückschreiten des Gletschers gewaltige Schmelzwasser das enge Tal durchströmten. Dabei wurden die sperrenden Moränen zerstört, ihr Material wurde weiter verfrachtet und als Flußschotter wieder abgelagert sowie zur Ausfüllung der Seebecken verwandt.

Es wurde schon erwähnt, daß das heutige Gefälle des Tales, wenigstens bis zur Goldbrücke, sehr gering ist. Auch früher war es nicht viel größer, wie die auf lange Strecken gleichbleibende Höhe der äußeren Terrasse über dem Fluß beweist. Gegenwärtig findet nur ein sehr minimaler Transport von Gesteinsmaterial statt, der durch den Wechsel von engen Schluchten und breiten Weitungen noch mehr eingeschränkt wird. Denn das meiste und besonders das gröbere Material wird in den Weitungen abgesetzt, in welchen das Gefälle minimal ist und am Ende der Becken fließt das Wasser geröllfrei und ziemlich rein durch die Schluchten weiter.

Bei einer späteren, sehr kleinen Talerweiterung fand unser Vordringen im Hauptttal ein Ende. Der Boden ist mit Flußschotter bedeckt und hier wurde früher, wie an anderen Flüssen des Tian-Schan z. T. heute noch, Gold ausgewaschen. Von einer einigermaßen lohnenden Ausbeute kann jedoch gerade hier keine Rede sein, denn die ganze zur Verfügung stehende Fläche mißt nur etwa 100 qm und die Mächtigkeit des Schuttes ist auch nicht groß. Die Wascherei ist daher schon seit langer Zeit wieder aufgegeben. Trotzdem scheinen die Chinesen die Hoffnung auf lohnenden Abbau nicht fallen zu lassen, denn als wir im Koksutal zurückzogen, begegnete uns eine chinesische Expedition mit einem Bergingenieur an der Spitze, welcher die Stelle untersuchen wollte. Die Sucht nach Gold hat dort sogar zur Anlage einer Brücke geführt, welche an einer ganz schmalen Stelle über den Koksu führt (Goldbrücke), und wir benützten diese Brücke zum Übergang auf die rechte Seite. Es mündet dort ein Seitental, Tschagansu, in dem wir weiter nach SO und S vordringen konnten.

Dieses Tal liegt in seinem Unterlauf noch ganz im Granit (mit viel Grünstein), später wird das grüne Gestein immer häufiger und tritt in größeren Massen auf, daneben ist aber immer noch heller grünlichweißer Granit vorhanden. Das Gestein ist stark zertrümmert, daher von einer Masse regellos sich kreuzender Klüfte durchzogen. In den Schuttmassen, die im Tale liegen, finden sich gelegentlich Stücke von Glimmerschiefer und im obersten Teil des Tales nehmen diese an Zahl überhand. Neben solchen von typischem Glimmerschiefer kommen auch Übergänge zu Phyllit vor. und es scheint mir nach all diesem kein Zweifel möglich, daß der das Tal abschließende Kamm bereits von Phyllit gebildet wird. Ein weiteres Vordringen war hier, wegen des schon gefallenen Schnees und der Kürze der Zeit. Ende Oktober, nicht möglich, sodaß ich mich mit diesen Beobachtungen begnügen muß. Soviel dürfte aber sicher sein, daß das Koksutal bei seiner Umbiegung vom Längszum Quertal im Phyllit liegt und daß hier die gleiche Gesteinsreihe ansteht (Granit — Glimmerschiefer — Phyllit), wie weiter östlich und westlich im oberen Koksu- und Kurdaigebiet und im Agiastal.

Im Tschagansu sind mächtige Moränen erhalten. Zwischen ihm und einem rechten Seitental liegt ein 50 m hoher Moränenrücken, der wahrscheinlich eine alte Seitenmoräne

darstellt. Das mittlere Stück des Tales ist eng und von steilen Wänden flankiert. Es mündet ein zweites rechtes Seitental, dann kommt eine hohe steile Talstufe und nach deren Überwindung wird das Tal breit, mit geringem Gefäll, bis zur obersten Gabelung. Der Talboden ist hier ganz mit alten begrasten Moränen bedeckt, welche in vielen kleinen, rundlichen Hügeln aufragen. Gletscher fehlen jetzt im Talschluß ganz, aber ihr früheres Vorhandensein beweisen die End- und Seitenmoränen, welche noch ziemlich gut erhalten sind.

Wir gehen wieder in das Kurdaital zurück. Südlich des Quarzporphyrs steht roter Biotitgranit an, der in Farbe und Ausbildung der einzelnen Mineralien dem Granit des Koksuquertales vollständig gleich ist. Während aber dort dieser rote Granit bis über die Goldbrücke hinaus, mindestens 25 km weit, ansteht, erreicht er hier im Kurdaital nur geringe Breite und ist überdies von den großen Moränen fast ganz verhüllt, welche am Rande des Hochgebirges zur Ablagerung kamen. Im Kurdaital selbst tritt an Stelle des roten bald grauer und grünlichweißer Granit, ähnlich dem, der im W erst weiter südlich, im Tschagansutal, auftritt. Das obere Kurdaital liegt bis nahe seinem Ursprung ganz in diesem Granit und auf der 14 km langen Strecke ergibt sich Gelegenheit, die verschiedenen Modifikationen des Gesteins kennen zu lernen. Am häufigsten ist der Granit graulich- und grünlichweiß und von mittlerem Korn. Meist überwiegen die hellen Mineralien (aplitische Facies), stellenweise treten aber auch Feldspat und Quarz an Masse sehr zurück gegenüber dem Biotit und das Gestein ist dann grau oder grün. Neigung zu porphyrischer Ausbildung ist häufig zu beobachten. Pegmatite und Aplite durchsetzen den Granit an manchen Stellen, ebenso finden sich basische Anreicherungen. Nach Süd nimmt porphyrische Entwicklung zu, zugleich tritt Andeutung von Schichtung auf und das Gestein wird allmählich zu einem Gneiß mit schwacher Augenstruktur. Am Kurdaipaß (3500 m) läßt sich der Übergang von normalem, richtungslos körnigem Granit zu typischem Gneiß Schritt für Schritt verfolgen. Den Kurdaipaß erreicht man, wenn man das Kurdaital nahe seinem oberen Ende verläßt und in einem aus NO kommenden Seitental zum Kamm in dessen Hintergrund aufsteigt. Dieses Tal läuft auf der Grenze zwischen Granit bzw. Gneiß und Glimmerschiefer, die ungefähr N 70 O zieht, über den Kurdaibach setzt und in einem linken Seitental weiter nach SW zieht. Morphologisch besteht ein starker Gegensatz zwischen den Formen zu beiden Seiten dieser Linie: rechts, nordwestlich, erheben sich die Granitberge mit schroffen Formen und steilen Gehängen über die Schuttmäntel an ihrem Fuße, links dagegen liegen die sanfteren Hänge und gerundeten Höhen der Schieferberge. Auch nach NO setzt sich diese scharfe Grenze fort ins obere kleine Dschirgalantal.

Dort, wo der Weg das Kurdaital verläßt und in das rechte Seitental einbiegt, welches mit einer Steilstufe zu jenem abbricht, steht Knotenglimmerschiefer an, der schon südöstlich der Grenzlinie liegt. Weiter oben im Tal liegt mitten im Schiefer eine kleine Kalkscholle. Sie zieht wenig östlich vom Kurdaipaß über den Kamm und weiter in nordöstlicher Richtung auf die linke Seite des kleinen Dschirgalantales. Ich untersuchte diese Stelle zweimal, aber beide Male lag noch Schnee und ich konnte deshalb den Kontakt des Kalkes mit dem Glimmerschiefer nicht genau untersuchen. Immerhin ließ sich folgendes feststellen: der Kalk ist z. T. marmorisiert und mit dioritischem Material injiziert, z. T. ist er schiefrig und mit Quarz in Linsen und Lagen durchsetzt oder es finden sich Quarzkörner ganz regellos in ihm eingestreut; ein Teil des Kalkes ist ganz unbeeinflußt geblieben

und bildet einen schiefrigen, schwarzgrauen Kalkstein. Grüner Diorit, von dem sich ja auch Partien im marmorisierten Kalk finden, und der neben dem Kalk ansteht, hat die Metamorphose herbeigeführt. Außer dem Diorit liegen noch Brocken von Amphibolit, z. T. epidotführend und mit Pyrit, sowie von Diabas und Grünstein herum. Es gelang nicht, diese Gesteine anstehend zu finden, aber sie stammen sicher aus nächster Nähe. Am Fuß des Hanges stehen Knotenglimmerschiefer an, gleich denen auf der anderen Seite des Kurdaipasses. Sie bzw. die Glimmerschiefer bilden von hier ab bis in das Kinsutal das anstehende Gestein. Erwähnt sei noch, daß ich bei der Kontaktstelle im Talboden auch ein Stück eines roten feinkörnigen, z. T. konglomeratischen Sandsteins fand, dessen Vorkommen an dieser Stelle auffallend ist. Es kann sich hier nur um eine ganz lokale Bildung handeln, welche durch fließendes Wasser zu stande gekommen sein muß.

Vom Kurdaipaß führt der Weg hinab ins obere kleine Dschirgalantal und an dessen rechtem Hang wieder hinauf auf den Kinsupaß. Das ganze Quellgebiet des kleinen Dschirgalantales liegt im Glimmerschiefer, der auch noch über den Kinsupaß hinüber nach SO bis zum Haupttal des Kinsu herab das anstehende Gestein bildet. Die Schichten streichen im allgemeinen ONO—WSW, also ungefähr quer zur Richtung des Weges. An einzelnen Stellen zeigen sich Abweichungen von der Hauptstreichrichtung. Fallen meist nach N (30—45°), lokal stehen die Schichten auch senkrecht (Kinsutal z. T.). An der Nordgrenze gegen den Gneiß bzw. Kalk scheint die Lagerung ziemlich gestört zu sein, teils fallen hier die Schichten steil N, teils stehen sie senkrecht. Die Ausbildung der Glimmerschiefer ist verschieden. Die Knotenschiefer im oberen Kurdaital nahe am Gneiß wurden schon erwähnt. Auch im kleinen Dschirgalantal treten sie auf, verschwinden aber schon in kurzer Entfernung vom Kontakt. An ihre Stelle treten graugrüne Glimmerschiefer, die im Querbruch massenhaft Quarzkörner und größere Quarzlinsen, von den Glimmerblättchen umhüllt, zeigen. Mit zunehmender Entfernung vom Granit werden die Schiefer feiner körnig, Quarz tritt an Masse zurück, und diese normalen Glimmerschiefer setzen den größten Teil des Schiefergebietes zusammen. Aber auch in ihnen kommen noch hie und da Partien vor, in welchen die Quarzkörner an Größe und Zahl überhand nehmen und die Glimmer sich in unregelmäßig gewundenen Flasern um sie herumlegen.

Bevor wir weitergehen, mögen noch einige Bemerkungen über die morphologischen Eigenschaften des Granit- und Schiefergebietes eingeschaltet werden. Das Kurdaital ist ein typisch alpines Tal. Es hat Stufenbau und ist teilweise mit großen Grund- und Endmoränen erfüllt. Seitenmoränen reichen in Resten beiderseits 50—60 m über die Talsohle empor. Das Haupttal hat Trogform, ist übertieft und die Seitentäler brechen mit Steilstufen zum Haupttal ab. Kleine Gletscher liegen noch im Talhintergrund. Gehängeschutt ist reichlich vorhanden und deckt die Moränen teilweise zu. Auch im kleinen Dschirgalantal sind Beweise früherer stärkerer Vergletscherung erhalten. Der von SW kommende Bach durchschneidet eine mächtige Grundmoräne und zwischen ihm und dem von S kommenden zweiten Bach liegt eine große Seitenmoräne. Der Südwestbach kommt aus einem Zirkuskar, in welchem noch ein kleiner Gletscher liegt, der Südbach ist der Abfluß eines 2 km langen Gletschers, welcher in jüngster Zeit sehr stark, etwa 200 m, zurückgegangen ist, wie die noch ganz frische entblößte Grundmoräne beweist. Der Kinsupaß (3400 m) ist eine 250 m breite Kammdepression. Auf der Südseite erhebt sich der Kamm ungefähr 300 m über den Paß, hier öffnet sich ein kleines Kar, das nach unten durch die Endmoräne eines

jetzt verschwundenen Gletschers abgeschlossen ist. Nördlich vom Paß liegt ein flacher, 50 m hoher Kamm. Die Paßfurche und das zum Kinsu herabziehende Tal sind sumpfig (Taf. 5, Fig. 4), es wechseln flache Böden mit Steilstufen.

Oberes Koksugebiet.

Mit dem Eintritt in das aus W heranziehende Haupttal des Kinsu gelangen wir in das Gebiet der Phyllite. Es sind bläulichgrüne, hellere und dunklere, ferner graue Schiefer. Sie sind häufig stark gefältelt und von Quarzgängen und -lagen durchsetzt. Bei der Mündung eines aus NO herabziehenden Seitentals streichen die Schichten N 15 W bei 20° S Fallen. Im Hintergrund dieses Tales erhebt sich ein Berg, dessen Schichten etwa N 35—55 O streichen und mit 30° N fallen. Es sind oben schwärzlichgraue Schichten, darunter liegt eine gelbrote Bank und unter dieser kommen graue Schichten. Soweit darüber ein Urteil möglich ist, dürfte der ganze Berg aus Phylliten von verschiedener Farbe bestehen und die gelbrote Schicht wird wohl ein Äquivalent der gelbroten Schicht sein, welche an dem Berg südwestlich unseres Lagers in dem Tal vom Kinsupaß herab zum Kinsuhaupttal sichtbar ist. Dieser Berg besteht in seinen höchsten Teilen aus Glimmerschiefer, der mit 40° N fällt (Fig. 5). Den südlichen Hang, der zum Kinsutal herabzieht, bilden Phyllite, welche konkordant auf den Glimmerschiefer folgen, durch überstürzte Lagerung aber unter ihn einfallen. Auch in diesen tritt eine Schicht durch gelbrote Farbe scharf hervor. Über und unter ihr liegen aber unzweifelhafte Phyllite und der Unterschied in der Farbe wird auf eine andere Zusammensetzung zurückzuführen sein. Vielleicht ist es eine Quarzitbank.

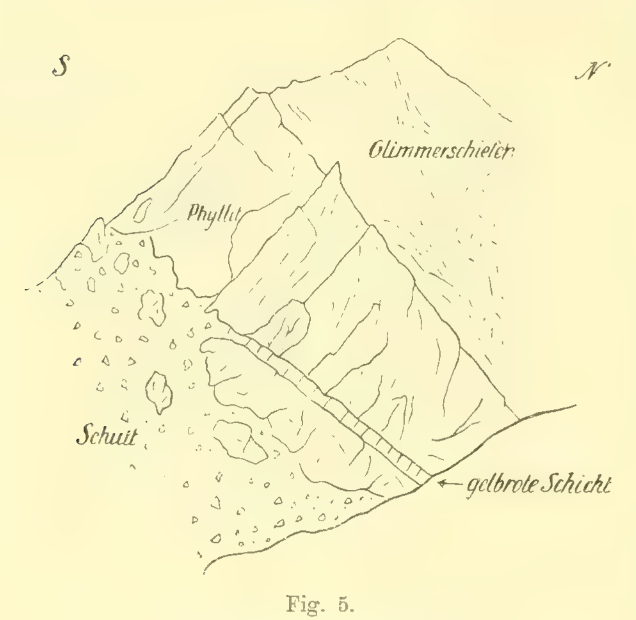


Fig. 5.
Berg im oberen Kinsutal.

Die Phyllitzone hat eine Breite von 12—15 km. In ihr liegt das Längstal des Koksu, das ungefähr parallel der Schichtung verläuft. Diese ganze Zone bietet wenig Bemerkenswertes. Die Hauptstreichrichtung des Phyllites ist ONO—WSW, Abweichungen von dieser Richtung sind im einzelnen nicht selten. Das Einfallen der Schichten, das in den nördlichen Teilen der Zone meist nach N gerichtet ist, erfolgt in den südlichen Teilen, am Koksu und südlich davon, meist nach S. Doch scheint es mir nicht gerechtfertigt, daraus auf eine große Antiklinale zu schließen, welche die Phyllite bilden könnten und deren Achse etwas nördlich von und parallel dem Längstal des Koksu verlaufen würde. Vielmehr

ist es wahrscheinlich, daß die ganze Zone durch tektonische Bewegungen in einzelne Schollen zerlegt wurde, welche in verschiedener Weise disloziert wurden. Daraus erklärt sich dann der häufige Wechsel von Streichen und Fallen. Sichere Ergebnisse verhindert der Umstand, daß die Phyllitberge fast durchaus mit Gras bewachsen sind und nur spärliche isolierte Aufschlüsse vorhanden sind. In den Tälern verhindert die mächtige Schuttdecke die Beobachtung der Lagerung.

Nördlich des Höhenzuges, der das Koksutal auf der rechten Seite begrenzt, erhebt sich eine höhere Bergkette. Ein kleines Tal gewährt einen Blick auf sie. Die höchsten Teile dieser Kette heben sich durch ihre helle Farbe und ihre schroffen Formen scharf von den vorliegenden Phyllitbergen ab. Sie bestehen aus Kalk, der auf Phyllit liegt. Diese Kalkscholle dürfte eine Länge von höchstens 5 km und nur geringe Breite haben. Blöcke des Kalkes fanden sich in dem Schutt des Tälchens, das von der Kette zum Koksu herabzieht. Es ist ein dunkelgrauer, kristallinischer Kalk, in dem Crinoidenstielglieder vorkommen. Im NO erreicht die Kalkscholle ihr Ende in einem Doppelgipfel, der von der Stelle unseres Hauptlagers im Mustamastal, kurz unter der Umbiegung, sichtbar ist.

Das Kinsutal ist breit und von mächtigen Moränen und Flußschottern ausgefüllt, welche sich in Terrassen übereinander lagern. An einer Stelle zählte ich 7 Terrassen. Die seitlichen Schuttkegel haben große Ausdehnung bei geringer Böschung, der Kinsu und seine Zuflüsse sind tief in diese Ablagerungen eingerissen.

Auch im Koksutal haben die eiszeitlichen und alluvialen Ablagerungen große Mächtigkeit. Zwei große Flußterrassen sind auf weite Strecken erhalten, teilweise ist eine mehrmalige Überlagerung von Flußschottern und Moränen zu sehen. Wenig unterhalb der Umbiegung des Mustamastales (2500 m), des großen linken Seitentales des oberen Koksu, ist folgender Aufschluß: über horizontaler, teilweise verstürzter Nagelfluh liegt Moräne, darüber wieder Nagelfluh, welche mit feingeschichteten, lehmig-sandigen Lagen beginnt. Es folgt eine schmale Terrasse und da, wo das Gehänge weiter ansteigt, liegen die höheren Schichten dieser Nagelfluh, welche bis zur nächsten Terrasse anstehen. Auf dieser liegt wieder Moräne. Weiter flußaufwärts steht Nagelfluh an verschiedenen Stellen an, rechts des Flusses horizontal liegend, während links die ursprüngliche Lagerung vielfach gestört ist. Die Bänke sind in kleine Schollen zerbrochen, welche mit 5—20^{0} nach verschiedenen Richtungen einfallen. Die Ursache dieser Störungen wird eine ganz lokale sein, etwa Unterspülung der Nagelfluh durch das Wasser des Flusses und Einbrechen der Bänke.

Bemerkenswert sind in diesen Tälern (Koksu und Mustamas) die häufigen Sümpfe an Hängen, welche durch den Fluß angeschnitten sind und zu ihm mit Steilabfall abbrechen. Es müssen hier auf den horizontal geschichteten Flußschottern, welche die Unterlage bilden, für Wasser undurchlässige Moränen liegen.

Der Weg vom Mustamastal zum oberen Koksu führt über einen niedrigen Rücken, der aus Phyllit gebildet wird. Beim Abstieg zum Koksu trifft man grauen phyllitischen Tonschiefer, der bei N 80 O Streichen mit 40^{0} S fällt. Zwischen den Schichten des Schiefers finden sich quarzitische und aplitische Lagen. Geht man weiter zum Koksu hinab und etwas flußaufwärts, so sieht man auf der rechten Seite eine steile Kalkwand. An ihrem Fuß, hart am Fluß, steht in einer Breite von 3 m grüner Diorit an, der den Kalk metamorphosiert hat, ganz ähnliche Verhältnisse also wie am Kurdaipaß. Zunächst dem Diorit ist der Kalk geschiefert und zwischen den Kalkschichten liegen solche von grauem, zucker-

körnigem Dolomit ($1^1/_2$ m), dann folgt dünngeschichteter, dunkelgrauer bis schwarzer Kalk, N 80 O, 80 S bis senkrecht, der nach 10 m keine Schichtung mehr zeigt. In ihm liegen auch Partien von grauem und schwarzem zuckerkörnigem Dolomit. Flußabwärts bildet der Diorit eine niedrige Terrasse. Hier ist der Kontakt mit dem Kalk durch Gehängeschutt verdeckt. Weiter unten bildet dann der Diorit das Gehänge, welches sich an das hintere, dem Fluße abgewandte Ende der Kalkscholle anlehnt, und hier ist der Kalk dünnschiefrig. Nach O, flußaufwärts, begleitet die Kalkscholle etwa 200 m den Fluß auf der rechten Seite, wobei sich die abradierte Oberfläche des Kalkes langsam herabsenkt und zuletzt unter den überlagernden Hanhaischichten verschwindet (Fig. 6).

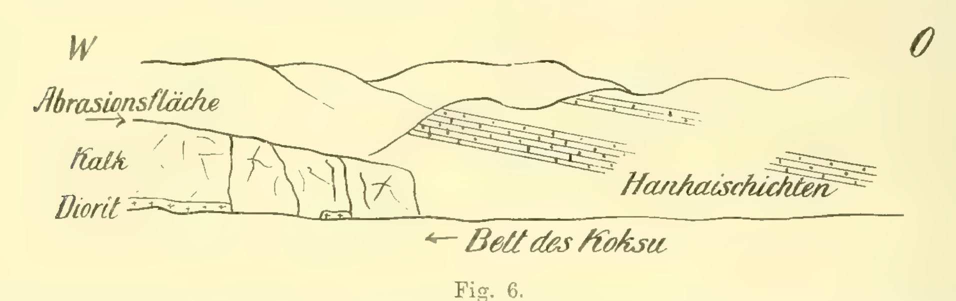


Fig. 6.

Kalkscholle in der Phyllitzone im obersten Koksutal, am Fuß der Scholle Diorit. Der Kalk ist abradiert, konkordant mit der Abrasionsfläche liegen die konglomeratischen Hanhaischichten.

Gegenüber der Kalkwand mündet ein linkes kleines Seitental. Auch hier steht noch der Diorit an, der durch den Koksu auf die linke Seite herübersetzt. Nach ihm kommt grünlicher Aplit, der durch seine Härte eine Barre am Eingang in das Seitental bildet. Hinter der Barre liegen weichere, mit dioritischem Material injizierte Schiefer und dann kommen die grauen Tonschiefer und grünen Phyllite, welche wir schon beim Abstieg in den oberen Teil des Koksutales getroffen haben und die von dort am Südhang des Tales mit gleichbleibender Richtung und gleichem Fallen herüberstreichen. Da auch der Kalk, wie schon erwähnt, N 80 O streicht, ist anzunehmen, daß er eine den Phylliten eingelagerte Scholle oder Linse ist, wofür ja auch die Übereinstimmung mit dem Kalk am Kurdaipaß spricht.

Nach oben teilt sich das Tal in zwei Arme, welche beide sehr enge, wilde Schluchten im Phyllit bilden. In beiden liegen Blöcke von rotem Quarzporphyr, geschieferten porphyrischen Gesteinen und Kalken. Der Ursprung der beiden Bäche ist also schon in der zentralen Kette gelegen, in welche uns spätere Routen führen werden.

Nordnordöstlich der großen Kalkscholle liegt eine zweite, viel kleinere. Grauer Kalk wird gegen den Kontakt mit Glimmerschiefer schiefrig, nimmt mehr und mehr Muskowit auf und bildet zuletzt Kalkglimmerschiefer, N 40 W, 45 S. Die Begrenzung der Scholle ist zu wenig aufgeschlossen, als daß etwas Sicheres darüber gesagt werden könnte.

Der 3150 m hohe Berg nordwestlich des Hauptlagers (Basisberg, weil wir auf ihm eine Basismessung ausführten) besteht auf seiner dem Koksu zugewandten Seite bis fast zur Spitze aus Phyllit. Auf der Höhe des Berges aber wird der Phyllit von granatführendem Glimmerschiefer abgelöst, der hier N 85 W streicht und 50 S fällt. Nördlich vom Basis-

berg erhebt sich eine langgestreckte, ungefähr SW—NO verlaufende Kette. Sie besteht, wie die von ihr herabgeschwemmten Blöcke in den Tälern nördlich und östlich des Basisberges beweisen, in der Hauptsache aus Granit, ferner aus Syenit und Diorit, sowie aus Gneiß, welcher den Übergang zwischen Granit und Glimmerschiefer bildet. Es sind also ungefähr die gleichen Gesteine, welche die Kurdaikette zusammensetzen, und unsere Kette ist die direkte Fortsetzung jener, zwischen den nördlichen Zuflüssen des oberen Koksu und dem kleinen Dschirgalan. Zwischen dem Phyllit im Koksutal und dem Granit der Kette ist die gleiche Übergangsreihe durch Glimmerschiefer und Gneiß wie dort zwischen Kinsu- und Kurdaital.

Das Koksutal verengt sich 4 km östlich der Kalkwand, und hier steht grüner, stark gefältelter und zerknitterter Quarzphyllit an, N 55—75 O streichend. Auch er ist, wie der Kalk, abradiert und wird von den Hanhaischichten diskordant überlagert (Taf. 6, Fig. 2).

Hanhaibecken im oberen Koksugebiet.

Ich habe schon einige Male Hanhaischichten erwähnt, ohne näher darauf einzugehen, um diese Ablagerungen im Zusammenhang besprechen zu können. Im Gebiete des oberen Koksu und seiner Seitentäler liegen mächtige Hanhaisedimente über den alten Gesteinen. In einer N-S Breite von 20 km reichen die tertiären Sedimente vom wasserscheidenden Kamm gegen das Yuldustal im O 15 km weit nach W und erfüllen den ganzen Raum zwischen der granitischen Kurdaikette im N und dem Hauptkamm des Chalyktau im S. Nach O setzen sie sich noch über die Wasserscheide in das Yuldustal fort.

Von dem Rücken zwischen Mustamas und Koksu sieht man den westlichen Teil des Hanhaibezirkes. Auf diesem Rücken tritt noch der Phyllit zu Tage (siehe oben S. 29), aber wenig östlich davon ist der Phyllit durch die Hanhaischichten verdeckt und kommt nur in den Tälern, so besonders in dem tief eingerissenen linken Seitental des Koksu hervor. Der Mündung dieses Tales gegenüber liegt die Kalkscholle, über der ebenfalls das Tertiär sich ausbreitet. Weiter nach O sind nur kleine Aufschlüsse des liegenden alten Gebirges, so nördlich der Kalkscholle die kleine Kalkmasse und im Koksutal Phyllit auf eine kurze Strecke, durch den der Fluß in enger Schlucht durchbricht. Möglicherweise sind auch im obersten Teil des Koksulaufes noch einige Stellen, wo das Grundgebirge zum Vorschein kommt. Von diesen wenigen und räumlich beschränkten Aufschlüssen abgesehen, ist das ganze Gebiet überdeckt mit einer 4—500 m mächtigen Folge von klastischen Sedimenten. Sie beginnen mit grobem rotem Konglomerat, welches neben den großen manchmal auch kleine Gerölle enthält. Der Grad der Abrollung ist ganz verschieden, stark abgerollte, kantengerundete und fast gar nicht gerundete Stücke liegen regellos durcheinander. Sie bestehen hauptsächlich aus hell- und dunkelgrauen Kalken und Marmoren, daneben kommen auch Stücke von Phylliten und Quarzporphyren vor. Das rote Zement ist stellenweise sandsteinartig, stellenweise mergelig. In einem rechten Seitental des Koksu, Dschamby, welches 3 km ober der Kalkwand mündet und in seinem Unterlauf ganz im Hanhai liegt, sind die Schichten wohl am besten aufgeschlossen. Die tiefsten sichtbaren, welche anscheinend nur wenig über der Grenze gegen den Phyllit liegen, sind wieder die roten Konglomerate. In den höheren Lagen schalten sich gelbbraune Schichten ein. Es sind lehmige oder mergelige Lagen, ferner solche von braungrünem Sand mit viel gelbem Glimmer, helle

Sandsteine und Geröllagen. In den lehmigen Schichten finden sich grünblaue Putzen und hie und da Rhizome (linker Seitenbach des Dschamby). Weiter oben kommt, links des Dschamby, lockeres, hellbraunes Konglomerat, rechts dagegen, wo der Karagaitasch (= versteinerter Wald) aufragt, liegt über dem roten Konglomerat mit den gelbbraunen Zwischenschichten sehr hartes und festes Konglomerat, welches braun anwittert. Es besteht, gleichwie das rote, aus runden und eckigen Stücken verschiedener Kalke und Marmore, Phyllite und porphyrischer Gesteine, aber ein Unterschied gegenüber dem roten besteht darin, daß die zwei letzteren Arten von Gesteinen viel reichlicher vorhanden sind als im roten Konglomerat, in welchem sie an manchen Stellen ganz fehlen. Die Schichten sind hier, am Karagaitasch, durch die verschiedene Widerstandsfähigkeit gegenüber den Atmosphärilien zu bizarren Formen zernagt und die steil in die Höhe ragenden Türme und Pfeiler haben zu dem bezeichnenden Namen Anlaß gegeben (Taf. 7, Fig. 2).

Die Schichten liegen im ganzen Gebiete horizontal oder fallen mit geringer Neigung von den Rändern des Beckens gegen die Mitte zu ein, z. B. die Sedimente über der Kalkwand mit 20—10° nach NO, konkordant mit der abradierten Oberfläche des Kalkes, oder östlich davon im Koksutal mit 20—10° NW. Nordöstlich und nördlich vom Basisberg fallen sie nach NO. Hier hat das rote Konglomerat ungefähr die gleiche Zusammensetzung wie im Dschambytal, nur sind viel Quarzbrocken in ihm enthalten, welche aus den mit Quarzlinsen durchsetzten Glimmerschiefern des Basisberges stammen.

Vom Basisberg bietet sich ein umfassender Blick auf das ganze Tertiärgebiet und seine Begrenzung. Von hier aus kann man sofort an den Terrainformen erkennen, wie weit sich das Tertiär erstreckt.

Besonders im S. am Hauptkamm und seinen nördlichen Ausläufern fällt der Unterschied auf. Hier bezeichnet der vom Hauptkamm östlich des rechten Ursprungstales des Mustamas nach NNW gegen das Koksutal herabziehende Seitenkamm die Westgrenze des Tertiärbeckens. Westlich dieses Kammes bildet der Hauptkamm schroffe Gipfel mit zerrissenen Wänden und viel gescharteten Graten und seine nördlichen Ausläufer brechen steil und unvermittelt zum Koksutal und zu den Seitentälern ab. Östlich des Kammes dagegen sehen wir, zugleich mit der allgemeinen Erniedrigung des Hauptkammes nach O, nur wenig über die Kammlinie aufragende Gipfel mit gleichmäßig schwach geneigten Hängen und geringe Schartung des Kammes. Als breite Rücken ziehen die Seitenkämme herab, zwischen welchen die Täler nur wenig eingeschnitten sind und weite Furchen bilden. Im O greift das Tertiär über die Wasserscheide gegen das Yuldustal hinüber. Flache, weitgedehnte, nahezu ebene Rücken bilden hier den Abschluß des Koksugebietes. Die granitische Kurdaikette begrenzt das Gebiet im N. Hier reicht das Tertiär nicht so hoch hinauf wie am Hauptkamm und die Verhüllung der charakteristischen Granitformen ist infolge der lebhaften Erosion nur mehr gering (Taf. 7, Fig. 3).

Die Lagerung dieser Sedimente läßt keinen Zweifel darüber, daß hier ein abgeschlossener See bestand, in welchen durch die einmündenden Flüsse gewaltige Schuttmassen eingeschwemmt wurden. Ich habe schon erwähnt, daß sich die Sedimente im Yuldustal fortsetzen. Ich kann mir daher, da ich dieses Tal nicht kenne, kein abschließendes Urteil über den Tertiärsee erlauben. Es sei nur hervorgehoben, daß die Höhenverhältnisse in jener Zeit von den heutigen sehr verschieden gewesen sein müssen. Denn am Hauptkamm reichen die tertiären Sedimente bis zu 4000 m etwa empor, die Sohle der Phyllitschlucht

dagegen, durch welche heute der Koksu das Becken entwässert, liegt ungefähr 2600 m hoch. Wie sich unter diesen Verhältnissen das Becken bilden und bis zu so großer Höhe seine Niederschläge absetzen konnte, wird besser an späterer Stelle besprochen. Jetzt sei nur noch erwähnt, daß die beiden Faltungsperioden, welche Gröber[1]) für den Tian-Schau im Tertiär annimmt, vor der Entstehung des Beckens liegen müssen, denn, wie aus der Beschreibung hervorgeht, haben die gesamten, bis 500 m mächtigen Bildungen keine Störung ihrer Lagerung erfahren.

Es sollen nun noch 2 Täler besprochen werden, welche, in S-N Richtung verlaufend, bis zu ihrem Ursprung am Hauptkamm des Chalyktau durchwandert wurden. Es sind dies das obere Mustamastal, dessen linker Arm nur ein kurzes Stück weit, dessen rechter, parallel mit jenem verlaufend, dagegen ganz durchwandert wurde, und das Saksanteketal, welches gegenüber dem Kinsutal in den Koksu mündet und durch welches ein Paß im Hauptkamm erreicht wurde.

Mustamastäler.

Dort, wo der Koksu aus der Phyllitschlucht heraustritt, durch welche er das Hanhaibecken entwässert, vereinigt er sich mit dem Mustamas. Dieser entsteht aus der Vereinigung zweier je 22 km langer Bäche, welche aus Gletschern des Hauptkammes entspringen und in N- bzw. NNW Richtung in engen Quertälern den Nordabfall des Hauptkammes durchbrechen. Nach ihrer Vereinigung fließt der Mustamas noch 5 km in N Richtung weiter, biegt dann nach W um und mündet nach weiteren 4 km in den Koksu.

Vom Hauptlager im unteren Mustamastal aus unternahm ich eine Erforschung dieser Täler. Bei der Biegung liegt das Tal im Phyllit, der hier N 65 O streicht und im allgemeinen senkrecht steht, bei Fältelung im kleinen. Der Phyllit reicht talaufwärts bis etwas über die Vereinigung der beiden Mustamastäler hinaus. Im Phyllit sind, wie am Wechsel der Farbe gut zu sehen ist, verschiedene Modifikationen vertreten. Die Hauptmasse ist bläulichgrün, daneben kommen rotbraun und gelbbraun anwitternde Schichten vor. Zu beiden Seiten des Flusses bildet horizontal liegende, diluviale Nagelfluh eine Terrasse, welche talauf langsam bis 40 m über dem Fluß ansteigt. Die vom untersten Mustamastal schon erwähnten, z. T. dislozierten Nagelfluhbänke sind die Fortsetzung dieser Terrasse, welche demnach von der Mündung in den Koksu bis zur Vereinigung der beiden Mustamastäler zu verfolgen ist.

Die Vereinigungsstelle der beiden Bäche liegt noch im Phyllit, und da das linke Tal hier schief zur Streichrichtung verläuft, so bleibt man, in diesem aufwärts gehend, noch $4^1/_2$ km lang im Phyllit bis zu einem von links herabziehenden Seitentälchen. Es liegt in seinem Unterlauf auf der Grenze zwischen Phyllit und Kalk. Der Weiterweg im Mustamastal ist durch eine 2 km lange Klamm gesperrt. Da auch an den Seitenhängen keine Möglichkeit ist, mit Pferden und Gepäck durchzukommen, mußte ich auf die nähere Erforschung dieses Tales verzichten. Von einem kleinen Felskopf links des Baches, über der Klamm, den ich erkletterte, bot sich ein instruktiver Blick talaufwärts.

---

[1]) Vorläufiger Bericht über die tektonischen Ergebnisse einer Forschungsreise im südlichen Tiën-Schan. Zentralbl. Min. 1910, 295—303, 338—347.

Über den Phylliten, welche hier links N 75 O streichen und senkrecht stehen, rechts ungefähr in gleicher Richtung fortstreichen, aber mit 60° S fallen, liegt diskordant Kalk bzw. Marmor. Die Diskordanz tritt auf der rechten Seite wenig hervor, denn auf den N 75 O streichenden Phylliten liegt mit ungefähr N 90 O Streichen und, soweit dies bei der undeutlichen Schichtung zu erkennen ist, 60° (Fig. 7), später 80° S Fallen der Marmor. Der direkte Kontakt ist durch Schutt verdeckt, so daß nicht entschieden werden konnte, ob ein Konglomerat an der Grenze vorhanden ist. Die Wahrscheinlichkeit ist sehr gering. Auch links ist der Kontakt nicht aufgeschlossen, aber hier ist die Diskordanz im Streichen so auffallend, daß ein Zweifel nicht möglich ist. Über dem senkrecht stehenden, N 75 O streichenden Phyllit streicht der Marmor N 15 W und steht ebenfalls senkrecht. Zugleich ergibt sich daraus, daß durch die Klamm eine Querverwerfung zieht.

Talauf sieht man rechts den weißen Marmor nach der Klamm noch etwa 500 m weit anhalten, dann kommt eine stark gefaltete und zerknitterte schiefrige Partie, welche vom Talboden bis hinauf zum Kamm zieht. Unten liegt sie im allgemeinen horizontal, höher oben aber sind ihre dünnen Schichten senkrecht aufgerichtet. Die Breite dieser Kalkschiefer beträgt etwa 100 m. Vom Grat herab ziehen dunkelgraue Schuttstreifen, welche wohl von Quarzporphyr stammen, der in der Höhe zu Tage tritt. Ich werde bei Besprechung des rechten Mustamastales noch darauf zurückkommen. Der Schutt des Marmors ist nahezu weiß, der des Kalkschiefers schmutziggrau, von dem dunkelgrauen deutlich verschieden. Danach kommt wieder heller Marmor, teilweise sehr dünn geschiefert, und nach ihm dunkelgrauer Kalk, der fast horizontal liegt. Er reicht bis zur Gabelung, 7 km vom oberen Ende der Klamm. Auf der linken Seite konnte ich weniger sehen, Störungen der Lagerung und Faltung treten auch hier auf, die Felswände treten näher an den Bach als rechts und sind von geringeren Schutthängen eingesäumt, während auf der rechten Seite große Schuttkegel in ununterbrochener Reihe den Fuß der Felswände einhüllen. Andere Gesteine als Kalk, Marmor und Quarzporphyr scheinen in dem ganzen Tal nicht vorzukommen.

Im rechten Mustamastal treffen wir nun die gleichen Verhältnisse. Bereits 2 km (Luftlinie) ober der Vereinigung der beiden Täler ist das Ende des Phyllites erreicht, da der Bach, abgesehen von den kleinen Krümmungen, quer zum Streichen des Phyllites (N 80 O, 70 S) verläuft. Nach Passieren einer engen, gewundenen Klamm folgt eine kleine Talweitung und dann eine zweite Klamm. Sie liegt schon im Marmor, der hier scheinbar konkordant mit dem Phyllit streicht und fällt. Der Marmor ist dünn geschichtet und zeigt am oberen Ende der Klamm N 75 O, 70° S bis senkrecht, dazu einzelne Schollen mit starker Faltung. Das Tal erweitert sich, beiderseits liegen große Schutthalden, zum Marmor treten dunkel- und hellgraue Kalke und in dem Schuttkegel, der von rechts aus einem Kar herabzieht, finden sich Blöcke von rotem und hellgrünem Quarzporphyr, wie im linken Seitental des oberen Koksu. Auch vom linken Hang zieht ein dunkelroter Schuttstreifen herab und beweist, daß der Quarzporphyr auch im Kamm zwischen den beiden Mustamastälern ansteht. Das ist übrigens auch schon unterhalb der Vereinigung (Fig. 8) zu sehen, wo man durch eine Depression, welche den Eckpfeiler zwischen beiden Tälern in zwei Hälften teilt, einen Blick auf das hinter ihm liegende Gebiet erhält. Die beiden Hälften des Eckpfeilers bestehen aus hellem Marmor und hinter ihnen liegt ein dunkles Gestein mit dunklem Schutt. Weiter im Hintergrund erscheint eine kecke Spitze, welche wieder aus hellem Marmor besteht.



Fig. 7.

Kontakt zwischen Phyllit und metamorphem unterkarbonischem Kalk, linkes Mustamastal. Der Kalk liegt transgressiv, Transgressionskonglomerat fehlt. Da hier im Marmor Schichtung nicht deutlich sichtbar, tritt die Diskordanz zwischen Phyllit und Marmor nicht hervor. Näheres Seite 34.

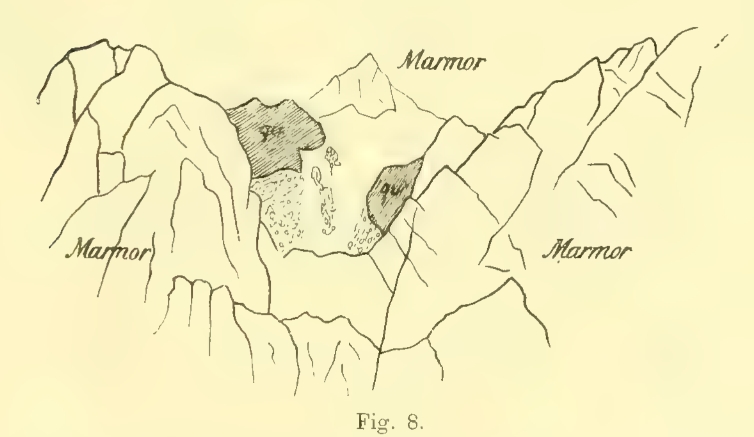


Fig. 8.

Eckpfeiler zwischen den beiden Mustamastälern, von N gesehen. Quarzporphyr (qu) zwischen unterkarbonischem Marmor.

Weiter talauf hat der Kalk nur noch geringe kontaktmetamorphe Beeinflussung erfahren, so daß es im weiteren Talverlauf nur wenig mehr zur Ausbildung reinen Marmors kommt. Das Tal liegt bis zu seinem Ursprung im Kalk, der in verschiedener Ausbildung zu sehen ist. Hell- bis dunkelgraue und schwarze Kalke, stark kristallinisch oder ziemlich dicht, teilweise bituminös, schiefrig brechend, teils dünnplattige, auch kohlige Schiefer sind die verbreitetsten Arten. Meist ist viel Quarz in Lagen und Linsen im Kalk enthalten. Auch grauer bis weißer Marmor kommt, untergeordnet, noch vor. Von Fossilien fand ich nur Crinoideenstielglieder.

Im allgemeinen sind die Schichten flach gelagert und fallen mit 20—30° N. An verschiedenen Stellen sind aber von dem allgemeinen O-W Streichen verschiedene Richtungen zu sehen. Dies ist stets der Fall an kleineren oder größeren stark gefalteten und von Verwerfungen durchschnittenen Schollen. Die Zeichnung (Fig. 9) gibt die Ansicht einer solchen ungefähr in der halben Länge des Tales oberhalb der Mündung eines linken Baches gelegenen. Hier sind verschieden dicke Schichten von grauschwarzem Kalk und dünne schiefrige Kalkschichten in liegende Sättel und Mulden zusammengepreßt. Die Pressung war so stark, daß an den Umbiegungsstellen die Schichten nicht in Kurven verlaufen, sondern spitzwinklig geknickt sind. Etwas oberhalb dieses Aufschlusses sieht man zu Linsen ausgequetschte Quarzlagen zwischen dünnen Schieferschichten und noch etwas höher am Seitenbach eine liegende Antiklinale, welche nicht so stark zusammengepreßt ist wie die am ersten Aufschluß. Daß hier eine von intensiver Faltung und zahlreichen Verwerfungen betroffene Stelle ist, geht auch aus dem raschen Wechsel des Streichens in geringer Entfernung hervor. Links vom Mustamas am ersten der erwähnten Aufschlüsse ist das Streichen N 77 O, der Aufschluß in den Schiefern wenig höher zeigt N 52 O. Rechts des Mustamas, unterhalb des von rechts kommenden Baches, sieht man Kalkschiefer mit N 82 O, danach bituminösen Kalk N 62 O und kohlige Schiefer N 83 W, alles mit 45—50° N fallend.

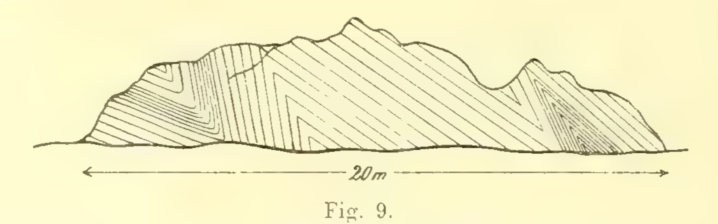


Fig. 9.

Stark gefaltete Scholle von dickbankigem und schiefrigem unterkarbonischem Kalkstein, rechtes Mustamastal.

Höher oben gabelt sich das Tal. Der linke Arm führt durch eine kurze Schlucht. Zu beiden Seiten steht dunkelgrauer Kalk an, der wieder Spuren starker tektonischer Störungen zeigt. Er streicht erst N 52 O und fällt 50 S, gleich daneben ist sein Streichen N 38 W, also rechtwinklig zum ersten und die Schichten stehen senkrecht. Nach der Schlucht kommt eine kleine Weitung mit ebenem Boden, welche früher von einem See ausgefüllt war. Deutlich ist noch eine bis 3 m hohe Terrasse zu sehen, welche teilweise durch Schutthalden und Moränen verdeckt wird. Dann kommt wieder ein schluchtartiger Einriß in weißgrauem Kalk, z. T. mit 20° N fallend, z. T. bei N 53 W senkrecht stehend

auf der linken Seite, während er etwas oberhalb rechts bei N 52 O mit 70 N fällt. Von hier bis zur Kammhöhe steht grauer klotziger Kalk ohne erkennbare Schichtung an.

So liegen also beide Mustamastäler, — denn wir dürfen annehmen, daß das in geringem Abstand vom rechten parallel mit ihm verlaufende linke die gleichen Verhältnisse bietet, — bis fast zu ihrer Vereinigung durchaus in der Kalkserie, und nur an einigen Stellen durchbricht Quarzporphyr diese gewaltige, bis zum Hauptkamm 22 km breite Kalkzone. Wir werden sehen, daß auch weiter im Westen, im Saksanteketal, im wesentlichen der gleiche Bau herrscht, daß also, da das Saksanteketal 12 km westlich vom linken Mustamastal liegt, die zentrale Zone auf ziemlich große Erstreckung den gleichen Charakter hat. Es ist überhaupt bezeichnend für den Tian-Schan, daß er ziemlich einförmig gebaut ist und in stratigraphischer und tektonischer Hinsicht wenig Abwechslung aufweist.

Saksanteketal.

Das Saksanteketal liegt, ebenso wie die Mustamastäler, in seinem Unterlauf im Phyllit. Zunächst am Koksu kommt der hell- bis dunkelgrüne Phyllit, in dem auch das Koksulängstal liegt und der schon bei Beschreibung dieses Tales erwähnt wurde. Er streicht im allgemeinen O-W und steht steil bis senkrecht. Später treten zu den grünen noch graue, intensiv seidenglänzende, sehr dünnschiefrige und nach diesen wieder lichtgrüne, ebenfalls stark seidenglänzende Phyllite, O-W, 70° N. Die Breite dieser Phyllitzone beträgt, von der Mündung in den Koksu bis zu ihrem südlichen Ende, 6 km. Nun folgt, in einer Breite von 100 m, rotbrauner gebankter Quarzporphyr, der quer über das Tal wegsetzt. Er ist in eine Anzahl Schollen zerteilt, welche verschiedenes Streichen und Fallen zeigen, N 85 O — N 50 O und 65° bis 80° N. Die letzte Scholle, im Süden, hat N 85 O, 65 N. Auf sie legt sich der Marmor der zentralen Zone. Der direkte Kontakt ist durch Gehängeschutt verdeckt, aber die Diskordanz der Auflagerung tritt durch das verschiedene Streichen und Fallen der Schichten (N 50 O, 80 N) deutlich hervor.

Im Marmor bzw. Kalk trifft man die gleichen Verhältnisse wie im Mustamastal. Auch hier hat der Kalk häufig Störungen erfahren. So finden sich talauf einzelne Schollen des Kalkes durch Verwerfungen abgetrennt, mehr oder weniger aus der Hauptstreichrichtung gebracht und verschieden stark gefaltet. Gleich bei Beginn der Kalkzone fällt der Marmor links des Baches mit 55° N, rechts dagegen mit 80° N. Im allgemeinen aber nimmt die Neigung der Schichten nach oben ab und 2 km oberhalb der Grenze gegen den Quarzporphyr beträgt der Fallwinkel nur noch 30—20° N. Hier ist eine Talweitung. Zu beiden Seiten stehen rote und grüne, z. T. schiefrige Quarzporphyre an, welche meist konkordant unter dem Kalk zum Vorschein kommen. Der Quarzporphyr (Fig. 10) hat bei seinem Aufsteigen den Kalk gehoben, so daß jetzt die Kalke von der Mitte nach außen einfallen.

Der Marmor ist weiß bis gelblich- und graulichweiß. Er kommt in Schichten von ganz verschiedener Dicke vor, von sehr dicken Bänken findet man alle Übergangsstufen bis zu Schichten, welche die Dicke eines Kartons haben. Hie und da ist auf den Schichtflächen Chlorit abgesetzt, ferner finden sich im Geröll Stücke, bei welchen eine mit weißem Quarz stark durchsetzte Masse von gerötetem Marmor zwischen dicke grüne chloritische Lagen eingeschlossen ist. Diese unzweifelhaften Anzeichen kontaktmetamorpher Beein-

flussung des Kalkes treten talauf mehr und mehr zurück und ebenso wie im Mustamastal tritt an die Stelle des Marmors der wenig oder gar nicht kontaktmetamorph umgewandelte Kalk. Er ist hell- und dunkelgrau bis schwarz, öfters brecciös, manchmal schiefrig (am Gletscherende, hier Pyrit-führend). Schlecht erhaltene Fossilien kommen vor (Spirifer und andere Brachiopoden, Gastropoden, Korallen, Crinoideen), keines der gefundenen Stücke läßt eine spezifische Bestimmung zu.

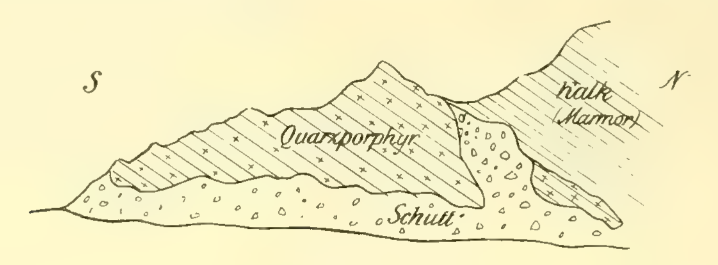


Fig. 10.
Kontakt zwischen unterkarbonischem Kalk und Quarzporphyr, Saksanteketal.

Die Lagerung des Kalkes ist, abgesehen von der untersten Partie nördlich des Quarzporphyrs, welche ziemlich steil N fällt, im allgemeinen ziemlich flach. Nach dem Quarzporphyr ist links ein breiter flacher Sattel zu sehen, dann liegen die Schichten sehr flach. Nach oben wird die Schichtung undeutlich und im Bereich des Gletschers ist sie fast gar nicht mehr zu erkennen. Der Kalk reicht bis zur Höhe des Hauptkammes, die Breite der Kalkzone nördlich der Wasserscheide beträgt also auch hier, wie im Mustamastal, 22 km.

Wie in ihrem geologischen Bau, so zeigen diese Täler (Mustamas und Saksanteke) auch morphologisch große Übereinstimmung. Während sie in ihren oberen Teilen verhältnismäßig breit sind und Platz für die Entfaltung beträchtlicher Gletscher bieten, verschmälern sie sich nach unten mehr und mehr und werden zu ganz engen, von hohen Steilwänden eingeschlossenen Schluchtentälern. Die seitlichen Zuflüsse stürzen mit großem Gefäll, teilweise in Wasserfällen, zum Talboden herab und dieser selbst ist, so schmal er auch ist, von mächtigen Schuttmassen bedeckt. Die Vegetation ist auf niedere Gewächse beschränkt, selten findet sich Buschwerk, und die höheren Partien liegen gänzlich kahl (Taf. 5, Fig. 3, 4).

Agiasgebiet.

Im Agiasgebiet treffen wir die gleiche Anordnung des Flußlaufes wie im Koksugebiet. Auch der Agias entspringt an der Hauptkette aus zwei großen Gletschern, deren Schmelzwasser sich am nördlichen Rande der zentralen Zone vereinigen und noch ein Stück in N-Richtung weiterfließen, also ähnlich wie am oberen Koksu, wo der Mustamas den gleichen Verlauf nimmt wie hier der oberste Agias. Das mittlere Stück des Flußlaufes zieht wie am Koksu in OW-Richtung und im unteren Abschnitt durchbricht der Agias, gleichwie der Koksu, im Quertal das Gebirge bis zu seinem Austritt in die Tekesebene, fließt hier am Rande der alten Seeterrasse nach NO und mündet gegenüber dem Westende des Attuintau in den Tekes. Die Länge der einzelnen im Gebirge liegenden Strecken des

Agiastales steht allerdings gegenüber der Ausdehnung des Koksutales sehr zurück, das Längstal misst nur 46 km und das Quertal 18 km, während die entsprechenden Zahlen beim Koksutal 100 und 60 km sind. Dementsprechend ist auch die Zahl der Nebenflüsse des Agias geringer, doch sind unter ihnen zwei, welche an Länge und Größe alle südlichen Seitentäler des Koksu übertreffen. Es sind dies das Koprsai- und das Khaptnsutal, und beide wurden von uns bis zu ihrem Ursprung begangen. Ich beginne mit dem Agiasquertal.

Quertal des Agias.

Am Südrand des Tekesbeckens westlich des Agias beginnt das Gebirge mit einem sanft ansteigenden Hang, dessen oberer Rand auf ziemlich große Erstreckung horizontal verläuft. Es scheint, daß hier eine Peneplain, analog der vom unteren Koksu beschriebenen und wahrscheinlich deren Fortsetzung, die äußerste Zone des Gebirges bildet. Das Gestein ist grauer Kalk, der bei Jagas-su, 10 km westlich des Austrittes des Agias in die Tekes-ebene, mit Fossilien erfüllt ist. Von den verschiedenen Arten, welche hier gefunden wurden (Productus pyxidiformis-pustulosus, P. cora, P. undatus, P. spiralis, Rhynchonella pugnus, Athyris Royssii, Martinia, Dielasma, Aviculopecten, Dibunophyllum, Phillipsia, Fenestella, unbestimmbare Crinoideen, Gastropoden und Brachiopoden), sind stratigraphisch verwertbar Dibunophyllum sp. und Productus pyxidiformis-pustulosus. Daraus ergibt sich für diesen Kalk das Alter der Stufe des Productus giganteus var. edelburgensis, also oberes Unter-karbon. Der Kalk ist grau mit roten Putzen und Linsen, z. T. dunkelgrau und bituminös. Von hier zum Agias steht noch 5 km weit der Kalk am Gebirgsrand an, dann aber legt sich vor ihn ein nach O an Breite rasch zunehmender Granitzug. Beim Austritt des Agias ist der Granit 3 km breit. In enger Schlucht mit 200 m hohen steilen Wänden bricht hier der Fluß durch den Granit, der sich noch ungefähr 2 km weit in die Steppe fortsetzt, niedrige, vom Fluß durchbrochene Rücken bildend.

Der Weg ins Agiastal führt über eine Kuppe links des Flusses, hoch über ihm. Hier und beim Abstieg in das Tal ist der Granit gut aufgeschlossen. Es ist in normaler Ausbildung ein ziegelroter Biotitgranit. In ihm kommen lichtgraue Partien vor, welche eine aplitische Facies darstellen, ferner solche von dioritischer Facies, auch finden sich porphyrische und gneißartige Partien sowie basische Putzen (Grünstein und Hornblende-gabbro). Der Granit ist von massenhaften weißen und lichtrötlichen Apliten durchschwärmt und mit zahlreichen Rutschflächen durchsetzt, auf welchen eine matte, hellgrüne, bis 1 cm dicke Schicht von Epidot liegt. Diese Rutschflächen sind poliert und mit Rutschstreifen versehen, welche N 60 W laufen und nach N ansteigen. Auffallend ist der Unterschied der Anwitterung des Granites: an steilen und senkrechten Flächen wittert er rotbraun und spiegelnd an, an schwachgeneigten Flächen aber viel heller und mehr bräunlich mit Stich ins Grüne.

Talauf grenzt der Granit an einen Kalkzug, der in einer Breite von 100 m auf der linken Seite aufgeschlossen ist. Der direkte Kontakt ist nicht sichtbar, an seiner Stelle zieht eine seichte Runse herab, in welcher abgestürzte Blöcke von injiziertem Schiefer und von grauem Kalk mit Crinoideenstielgliedern liegen. Dann kommt eine kleine Partie von anstehendem weißem Marmor mit mehligsandigen Bruchflächen, dann marmorisierter Kalk mit Grünschiefer zusammengeknetet und Diorit. Nun erst kommt die Hauptmasse des

Kalkes als hellbraungrauer, marmorisierter Kalk mit Zwischenlagen von grauem und schwarzem Kalk, mit Crinoideen. Streichen N 75 W, Fallen erst 65 N, bald aber 60 S. Der Kalk ist durch den Granit und seine dioritischen Nachschübe metamorphosiert und in seiner Lage stark gestört worden. Ob der Kalk mit dem von Jagassu in Verbindung steht, kann ich nicht entscheiden, möglich wäre es immerhin und dann hätte der Granit postunterkarbonisches Alter. Möglich ist aber auch, daß der Kalk zu einem der in der Schieferzone an manchen Stellen gefundenen Kalkzüge gehört und somit älter ist als der Kalk von Jagassu.

Der Kalk streicht quer über das Tal und man sieht auch rechts, daß er vom Granit beeinflußt ist. Einzelne helle Partien, die hier in verschiedener Höhe im Granit sichtbar sind, dürften mitgerissene Kalkschollen sein. Nördlich der Mündung eines rechten Seitentales sieht man den Hang von Kalk gebildet, dessen Schichten 50—60° N fallen, von Granit unterlagert sind und an zwei Stellen mit granitischem Material injiziert sind, welches zwischen die Schichten eingedrungen ist.

Auf seiner Südseite grenzt der Kalk an Gneiß, der jetzt 5 km weit das anstehende bildet. Seine Beschaffenheit ist ziemlich ungleichmäßig, neben grünem findet sich weißlicher und rötlicher, auch grüner mit porphyrischem rosa Feldspat, gleich dem im Granit, kommt vor. Quarz in Gängen und Linsen ist häufig. Im Gneiß tritt auch Quarzdiorit auf. Streichen des Gneisses N 20 W, 40–80 N fallend. Nach S wird der Gneiß schiefrig und geht allmählich in Phyllit über. In diesem verläuft nun das oberste Stück des Agiasquertales und das ganze Längstal. Bevor ich aber zur Besprechung desselben übergehe, möchte ich einige Beobachtungen mitteilen, welche ich in zwei kleinen linken Seitentälern des Agiasquertales, dem Kauinduibulak und seinem nördlich von ihm verlaufenden Paralleltal gemacht habe.

Beide Täler ziehen in W-O-Richtung und brechen steil zum Agias ab. Das nördliche ist etwas länger als das südliche, welches ungefähr 5 km mißt. Der Unterlauf der beiden Täler sowie die östliche Hälfte des trennenden Kammes liegt im Phyllit. Es ist ein meist grünes, teilweise auch schwarzgrünes und grauschwarzes Gestein mit Quarzgängen und Quarzlagen (Quarzphyllit). Im Südtal kommen auch Streifenglimmerschiefer vor. Die Phyllite sind meist gefältelt, sie streichen im Südtal N 15 O bei 50 S Fallen, am Kamm zwischen beiden Tälern N 40 O bei 60 S, während ich im Nordtal an einer Stelle N-S Streichen bei 45 N Fallen maß. Im Südtal sind die Phyllite häufig von ziemlich mächtigen Apliten durchschwärmt, welche in dieser Ausdehnung am Kamm und im Nordtal fehlen. Geht man im Südtal weiter, so kommt man nach Überwindung des steilen Anstiegs in den oberen, schwach geneigten Teil des Tales und bald an die Grenze des Phyllites. Rötlicher Aplit steht hier an und tritt in Kontakt mit weißem Marmor. Die Grenze läuft N 25 W. Der Marmorzug ist 20 m breit, danach kommt wieder Aplit, der auch noch in einer von NW vom Kamm zwischen beiden Tälern herabziehenden Rinne ansteht. Höher oben kommt rotbrauner Tonschiefer, dann Grünstein mit Schwefelkies. Danach folgt wieder ein Kalkzug, der 60 m breit ist, aus weißem Marmor und grauem Kalk besteht und mit schroffen Formen emporragt. Nach ihm kommt roter und brauner Quarzporphyr mit Tuffen, der sich bis zur Kammhöhe fortsetzt.

Steigen wir nun vom Agiastal auf dem Kamm selbst empor, so gelangen wir, stets im Phyllit bleibend, auf einen Gipfel, der 1200 m über dem Agiastal liegt. Von hier

sehen wir in beide Täler hinab und erkennen nun, daß der obere Kalkzug des Südtales über den Kamm in das Nordtal herüberzieht, 600 m westlich des Gipfels. Hier ist eine breite Einschartung, welche die Westgrenze des Phyllits bezeichnet. Nach dieser Scharte kommt der Kalkzug, aber er ist hier nicht mehr einheitlich, sondern durch einen phyllitischen Streifen in zwei Abteilungen zerlegt. Die Breite der ganzen Zone beträgt 80 m (Fig. 11 und 12). Westlich des Kalkes setzt der Quarzporphyr über den Kamm herüber. Der Kontakt Kalk-Porphyr setzt nun schräg durch das Nordtal, welches aus der Vereinigung zweier Kare entsteht, derart, daß an dem Felsrücken zwischen den beiden Karen der Kalk noch in einer Breite von 50 m das äußerste Ende bildet (Punkt b auf Fig. 11 und 12), erscheint in der kleinen, vom Eis gerundeten Felspartie im Talboden (Punkt a auf Fig. 11) wieder und zieht zum Kamm hinauf, der das linke, etwas größere Kar im Nordwesten begrenzt. Hier zeigt eine Einschartung die Stelle des Kontaktes (Punkt c auf Fig. 11). Der Kalk liegt im allgemeinen konkordant mit dem geschichteten Quarzporphyr, so bei a N 85 O, 65 S, zwischen a und c beträgt das Einfallen 40—50 N und bei c stehen die Schichten noch steiler. Der Kalk bildet von hier nach O den Kamm, sowie das ganze Nordgehänge, stellt sich in geringer Entfernung von c senkrecht und ist

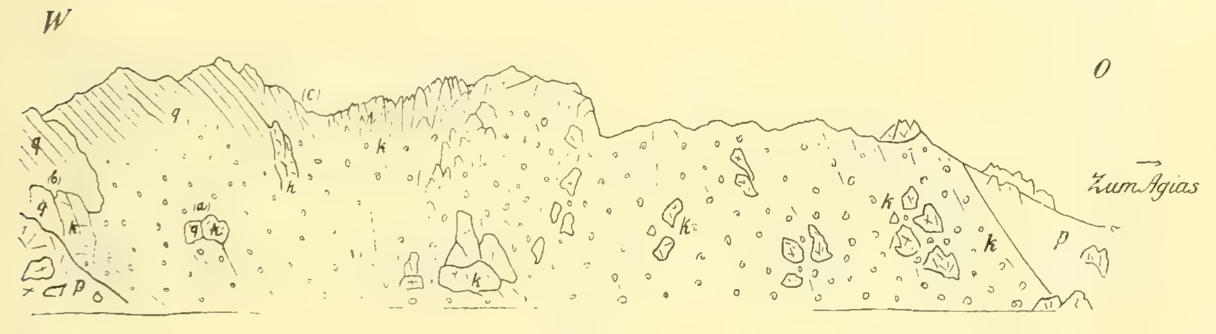


Fig. 11.

Blick vom Gipfel zwischen den Kauinduitälern auf das Nordtal. Kontakt Kalk-Quarzporphyr zieht schräg über den Talkessel hinweg, von b über a nach c. k = Kalk der Phyllitzone, q = Quarzporphyr, p = Phyllit.

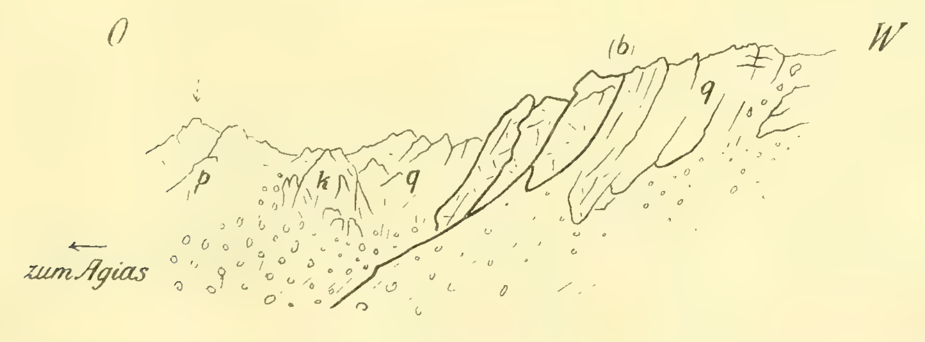


Fig. 12.

Von Punkt a der Fig. 11 Blick auf den Gipfel zwischen beiden Tälern. Bedeutung der Zeichen wie bei Fig. 11.

in eine Masse spitzer Türme und Kegel aufgelöst, die auf den ersten Blick an Erdpyramiden erinnern. Ungleichheiten der Lagerung kommen vor, außer senkrecht stehenden auch steil nach N und S fallende Partien. Der Kalk ist weißgrau, braust mit verdünnter Salzsäure auch ganz nahe am Kontakt, wo er gerötet ist, und zerfällt, je weiter man am Kamm nach O geht, desto leichter durch die Wirkung der Atmosphärilien, sodaß dort nur kleine, isolierte Felspartien aus dem hellen Schutt aufragen, welcher bis zur Kammhöhe hinauf das Gehänge bedeckt. Die Grenze gegen den Phyllit tritt durch den starken Farbenunterschied des Schuttes beider Gesteinsarten scharf hervor.

Der Quarzporphyr hat die gleiche Ausbildung wie im Südtal. Er ist meist rotbraun, teilweise auch grün mit roten Orthoklasen. Tuffe sind gleichfalls vertreten. Auch im Agiastal, an der Mündung des Nordtales, stehen sie an. Sie enthalten viel Einschlüsse von rotbraunem Tonschiefer, gleich dem, der aus dem Südtal schon erwähnt wurde. Im Nordtal kommen ebenfalls solche Tonschiefereinschlüsse im Tuff vor, ferner finden sich hier mit Quarzkörnern durchsetzte Tonschiefer und Stücke, welche eine Porphyrlage zwischen Tonschieferlagen zeigen. Es gelang mir nicht, Tonschiefer in weiterer Verbreitung anstehend zu finden, das einzige Vorkommen von anstehendem Tonschiefer ist das vom Südtal schon erwähnte. Nach der Häufigkeit des Tonschiefers in dem Quarzporphyrtuff muß er aber zur Zeit des Emporsteigens des Porphyrs eine viel größere Ausdehnung gehabt haben. Auffallend ist auch, daß im Tuff Trümmer des Kalkes vollständig fehlen. Es muß dies so erklärt werden, daß, wie ja auch aus der Lagerung hervorgeht, der Porphyr nicht durch den Kalk hindurchgedrungen, sondern nur neben ihm aufgestiegen ist, und daß es an der Grenze gegen den Kalk zu einer Tuffbildung nicht gekommen ist. Die ganze vom Quarzporphyr auf den Kalk ausgeübte Metamorphose beschränkt sich auf Rötung am Kontakt und Marmorisierung. Beides, Kalk wie Tonschiefer, liegt in der Phyllitzone, der Kalk als Einlagerung, wie er ja so häufig im Phyllit vorkommt, und der Tonschiefer vielleicht als ein gegen die Agentien, welche die Umwandlung des Phyllites bewirkt haben, sehr widerstandsfähiger Teil des ursprünglichen Gesteins.

Bei der Biegung des Agias mündet von SW kommend ein bedeutendes Tal, Kongrbulak. Da ich dieses Tal nicht selbst besuchte, kann ich über seine geologischen Verhältnisse nur sagen, was ich aus den von Prof. Merzbacher und Führer Kostner von dort mitgebrachten Handstücken schließen konnte.

Das Hauptgestein ist auch hier Phyllit, der im untersten Tal 20—30 N fällt bei W-O Streichen. In ihm finden sich Amphibolit, Eklogit, Glaukophaneklogit und Glaukophanschiefer, auch Glimmerschiefer kommen vor. Aplite sind ziemlich reichlich vertreten. In den höheren, südwestlichen Teilen kommen granatführende Glimmerschiefer, Kalkglimmerschiefer und Serpentin vor, ferner finden sich hier schwarze Tonschiefer und grauer kristallinischer Kalk mit Putzen von Tonschiefer. Gerölle von rotem und lichtem Granit stammen wahrscheinlich aus dem das Nordtal abschließenden Kamm, welcher die Wasserscheide gegen das Musarttal bildet, in welchem wir den Granit wieder antreffen werden.

Kurz seien noch die jungen Ablagerungen des Quertales des Agias besprochen. Das Tal bildet einen wenig ansteigenden Boden von 150—200 m Breite. Nach unten ist er abgeschlossen durch den Granit am Gebirgsrand, durch den sich der Fluß in enger Schlucht hindurchzwängt. Vor der Durchsägung dieser Barre war das Quertal von einem See ausgefüllt, dessen Ablagerungen teilweise noch erhalten sind. So fließt der Agias heute

10—15 m tief eingerissen in die geschichteten Schotter, welche den ebenen Talboden bilden. Auf der rechten Seite ist noch ein Rest einer höheren, 30—40 m über den ebenen Talboden ansteigenden Terrasse erhalten, welche aus geschichteten Lagen von Sand und Löß mit Geröllen besteht. Auch links sind bei der Mündung des Tegermen-bulak Teile der Seeterrasse erhalten.

Flußauf verengt sich das Tal und der Fluß fließt hart am Abbruch einer Terrasse links, die auch rechts teilweise erhalten ist, welche aber nicht nur aus geschichtetem Schotter, sondern auch aus Moränen besteht. Man sieht hier rechts Moräne und darüber geschichteten Schotter, links in dem Steilabsturz eine 6 m breite Partie von stark gefalteten Schichten von Löß mit Geröllen von harten Sandlagen und feinen Geröllagen. Über dieser gefalteten Partie liegt Moräne. Es hat also hier das Eis bzw. die vom Eis vorgeschobene Moräne eine Stauchung des Untergrundes bewirkt, welcher aus den Sedimenten einer vorhergegangenen Interglacialzeit besteht. Auch rechts ist schwach S fallender geschichteter Löß zu sehen, von Moräne überlagert.

Es ist aus diesen Aufschlüssen zu sehen, daß die heute noch gewaltigen Gletscher des Hauptkammes zur Eiszeit eine viel größere Ausdehnung hatten und bis nahe an das Tekesbecken, vielleicht sogar in dieses selbst, sich erstreckten. Dem entspricht auch die Form des Agiasquertales. Es ist gegenüber seinen Seitentälern übertieft, und diese münden mit Steilstufen ein. Ausgezeichnet ist dies an dem Kauinduibulak und seinem Paralleltal sichtbar. Nach Ersteigung der Steilstufe kommt man bei beiden Tälern in einen breiteren, flachen Boden, der von alten Moränen ausgefüllt ist. Der Hintergrund der Täler ist karförmig erweitert; während aber im Südtal noch ein ziemlich beträchtlicher Gletscher erhalten ist, ist im Nordtal, das die gleiche Höhe und gleiche Exposition (O) hat, in den beiden Karen, aus deren Vereinigung es entsteht, kein Rest der alten Gletscher erhalten, selbst perennierende Schneefelder fehlen, und nur die Art der Formen, die alten Moränenhügel und die vom Eis abgeschliffenen Felsen, sowie die ebene sumpfige Fläche hinter den Hügeln der alten Endmoräne im mittleren Teil des Tales beweisen die frühere Existenz von Gletschern, deren Moränen auch im unteren Tal bis hinab zum Agiastal in nicht geringer Mächtigkeit aufgeschlossen sind.

Längstal des Agias.

Wie schon erwähnt wurde, liegt das ganze Längstal des Agias, ähnlich dem des Koksu, in der Phyllitzone und zwar ungefähr parallel der Hauptstreichrichtung. Daher bietet sich hier wenig Bemerkenswertes. Diese Zone ist sehr einförmig gebaut, der Phyllit selbst erscheint kilometerweit in der gleichen Ausbildung oder weist nur geringe Verschiedenheiten in Farbe und Quarzführung auf. Im Tal selbst sind nur wenig Aufschlüsse, denn mächtige Moränen und Schotter füllen es aus. Auf diese Geröllmassen, welche teilweise bis zu großer Höhe erhalten sind, legen sich von den Hängen herabziehende alte Schuttkegel, welche meist dicht mit Wald und Buschwerk bewachsen sind und hoch hinaufreichen. Nur wo in Wasserrinnen frisches Gestein herabgeschwemmt worden ist, kann man die Gesteine erkennen und findet meistens Phyllit. So weit Schichtung zu erkennen ist, sieht man ungefähr WSW—ONO Streichen und verschieden steiles N Fallen. Die rechte Talseite ist hiezu günstiger als die linke. Denn der Fluß ist ganz an die rechte

Seite gedrängt, wo er zwischen den Schutterrassen und anstehendem Fels fließt. Infolge der Lagerung sind hier die Hänge steiler als links, bieten daher weniger Gelegenheit zur Bildung ausgedehnter Schuttmäntel und sind infolge ihrer Südexposition nur mit spärlicher Vegetation bewachsen. So kann man hier von der gegenüberliegenden Talseite aus (der Weg führt stets links des Flusses) erkennen, daß die Schichten im unteren Teil des Tales mit 40—50° N fallen. 6 km oberhalb der Mündung des Khaptnsu fallen sie noch steiler, 50—60 N. Talauf tritt hier ein Berg etwas gegen das Tal vor und man sieht an ihm den Phyllit SW—NO streichen und 40—50° NW fallen. Nach ihm kommt wieder das normale Streichen, aber die Neigung der Schichten wird geringer und geht bis zu 20° herab. Es scheint, als ob hier eine Scholle durch Querverwerfungen beiderseits herausgebrochen sei, welche zugleich die Grenze zwischen den schwächer und stärker geneigten Schichten des oberen und unteren Talabschnittes bildet.

In den Phylliten fand ich an verschiedenen Stellen Einlagerungen von Amphibolgesteinen, sowie von Gneiß und Schiefern. Die vom Kongrbulaktal wurden schon erwähnt, ebenso fanden sie sich weiter nach O. Der Berg südlich der Biegung besteht zu unterst aus schwarzem Phyllit, höher oben steht grüner Amphibolit an und aus dem Gletscherkar westlich des Gipfels kommt nur Amphibolit und Muskowitglimmerschiefer mit großen Granaten und Hornblendenadeln.

Bei der Mündung des Koprsaitales steht grüner Gneiß mit Quarzgängen und -linsen an, weiter oben im Agiastal grüner Glimmerschiefer. Ein weiteres Vorkommnis solcher Gesteine ist etwas unterhalb des erwähnten Berges mit der abweichenden Lagerung. Es mündet hier auf der linken Seite ein kleines, aus einem Kar herabziehendes Tal. Im Schutt dieses Tales fand ich durch sekundäre Infiltration mit Eisenverbindungen geröteten Muskowitglimmerschiefer, granatführend, Glaukophanschiefer, Glaukophaneklogit, helleren und dunkleren Eklogit und schiefrigen Granatgabbro.

Im obersten Teil des Längstales, dort, wo der von S kommende Agias nach W umbiegt, treffen wir etwas interessantere Verhältnisse. Es mündet hier ein von NO kommendes Tal, welches ganz im Phyllit liegt. Westlich von ihm ziehen zwei weitere kleine Täler in N-S Richtung zum Agias herab. Hier liegt in den Phylliten ein Kalkzug von 300 m Mächtigkeit. Steigt man den Hang östlich des ersten Hochtales hinauf, so sieht man im N einen Berg, dessen Oberbau aus Kalk besteht, welcher konkordant mit dem liegenden Phyllit streicht und fällt, ONO—WSW, 20—40 N. Nach SW setzt sich der Kalk fort und erscheint wieder westlich des ersten Hochtales. Die Sohle des Tales liegt durchaus im Phyllit, der hangende Kalk ist erodiert. Erst in einiger Höhe über dem Talboden erscheint er wieder und bildet den Kamm, welcher das erste Hochtal vom zweiten scheidet. Die Schichten scheinen hier, abgesehen von kleinen Störungen, mit 30—40° nach O einzufallen, so daß wahrscheinlich durch das erste Hochtal eine Querverwerfung zieht. Überschreitet man nun den schmalen Kamm und blickt in das zweite Hochtal, so sieht man, wie hier der Kalk mit steilen Wänden zur Talsohle abbricht. Der Kalkzug setzt in südwestlicher Richtung schief durch das Tal, so daß der gegenüberliegende Kamm nur noch aus Phyllit besteht mit Ausnahme eines kleinen Buckels am Südabfall des Kammes, welcher von Kalk gebildet wird. Die Hauptmasse des Kalkes liegt südlich des Kammes und senkt sich rasch hinab zum Agiastal, dieses unter sehr spitzem Winkel schneidend. Dort bildet der Kalk noch etwa 3 km weit die rechte Uferwand. Ob dieser Kalkzug sich

links des Flusses fortsetzt, konnte ich nicht entscheiden. Dagegen ist links, gegenüber der Mündung des zweiten Hochtales, ein weiterer schmaler Kalkzug dem Phyllit eingeschaltet, der von dem eben beschriebenen vollständig getrennt ist und sich nach O rasch zum Talboden herabsenkt.

Der Kalk ist fast durchwegs in grauen bis weißen Marmor umgewandelt, mit Quarzlagen durchsetzt und mit massenhaften Chlorit- und Muskowitblättchen erfüllt, auch sind manchmal Granaten und Schwefelkies in ihm eingeschlossen. Auch ein tiefgrüner Amphibolit wurde im Kalk gefunden.

Der Phyllit ist meist blaugrün, aber auch bläulich und grauschwarz, auch hellere Partien kommen vor. Neben Phyllit finden sich auch Glimmerschiefer und alle Übergänge zwischen beiden Gesteinen.

Nördlich des Kalkes erscheint wieder Phyllit bzw. Glimmerschiefer und auf der Westseite des ersten Hochtals sieht man, daß er auf dem Kalk liegt. Es ergibt sich daraus, daß der Kalk eine Einlagerung im Phyllit ist, welche gleichzeitig mit diesem metamorphosiert wurde. Nachträgliche tektonische Störungen haben dann den einheitlichen Kalkzug zerrissen, sodaß jetzt die Konkordanz mit dem Phyllit nur noch teilweise erhalten ist.

Das Agiaslängstal hat nicht nur geologisch, sondern auch morphologisch große Ähnlichkeit mit dem des Koksu. Das Gefälle ist nicht groß, der Talboden, im unteren Teil wenigstens, breit und mit mächtigen Schuttmassen ausgefüllt. Bei der Mündung des Koprsai bilden sie sieben Terrassen übereinander, welche eine Höhe von ca. 30 m über dem Fluß haben, und beweisen, daß einst viel größere Wassermengen das Tal durchflossen haben. Möglich ist auch, daß wie im Quertal, so auch im Längstal ein See bestand (der mit dem im Quertal vereinigt war), und daß dessen Ablagerungen ganz oder zum Teil die Terrassen aufbauen. Auf den Schottern liegt im oberen Teil noch manche alte Moräne, sumpfigen Boden erzeugend. Die Formen der Phyllitberge sind, wie überall, ohne besondere Schönheit und zeichnen sich durch ermüdende Gleichförmigkeit aus.

Koprsaital.

Bei seiner Mündung in das Agiastal liegt das Tal des Koprsai, seines bedeutendsten Zuflusses, in der Phyllitzone. Phyllit selbst tritt hier sehr zurück gegenüber Amphibolgesteinen, Gneissen und Schiefern, welche auf große Strecken hin anstehen. So setzt gleich beim Eintritt in das Tal der vom Agiaslängstal schon erwähnte Biotitgneiß quer über das Tal und der Fluß durchbricht ihn in enger Schlucht. Auch im Koprsaital spielen Moränen und Schotter eine große Rolle und verhindern fortlaufende Beobachtungen über die anstehenden Gesteine. Bis zum untersten linken Zufluß, Karagaibulak, ist das Hauptgestein bald körniger, bald schiefriger Gneiß, in welchem Diorit und Grünstein auftreten. Direkt nördlich Karagaibulak fand ich auf einer 500 m langen Strecke, quer zur Streichrichtung, folgende Gesteine: verschiedene Glimmerschiefer, auch Knotenglimmerschiefer, und den Schiefern eingelagert Amphibolite von verschiedener Ausbildung, Granatamphibolit, epidotführenden und injizierten Amphibolit. Dazu kommt noch ein rechts des Koprsai gefundener heller braungrüner Amphibolit mit zahlreichen Muskowitblättchen.

Oberhalb der Steilstufe, mit der das Karagaibulaktal zum Koprsai endigt, liegen einzelne Gerölle von Kalk, welche beweisen, daß am oberen Ende des Tales, das noch

ganz in der Phyllitzone liegt, ein Kalkzug vorhanden ist. Der Kalk ist metamorphosiert, ich fand schwarzen Kalkschiefer mit großen Turmalinnadeln und weißen Marmor. Von diesem lag ein größerer Block frei und ließ die Wirkung der starken Insolation erkennen. Die äußeren Partien waren vollständig mürb, sodaß sie beim Anfassen zu grobem Sand, aus den einzelnen Mineralkörnern, zerfielen, nach innen wurde der Stein allmählich fester, ließ aber noch bis 20 cm von der Oberfläche Beeinflussung durch die Insolation, durch sandigen Zerfall, erkennen.

Talauf werden die Verhältnisse etwas günstiger insofern, als die Moränen und fluvioglacialen Schotter an Masse zurücktreten und mehr Gehängeschutt vorhanden ist. Es kommen Glimmerschiefer mit dunkelgrünen Knoten, dann solche mit viel kleinen Quarzlinsen und nach diesen granatführende mit großen Muskowitblättern. Danach kommt wieder eine Zone mit Amphibolgesteinen, beginnend mit grünem Eklogit, der ganz mit kleinen Granaten gespickt ist, nach ihm stehen grün- und blaugraue Glaukophanschiefer und graugrüner Granatamphibolit an. Abgeschlossen wird die Serie wieder von Muskowitglimmerschiefer. Diess Gesteine stehen auch auf der rechten Seite an, wie überhaupt die Schichtung, soweit eine solche erkennbar ist, quer zur Talrichtung verläuft und das Tal ein reines Erosionstal ist, welches erst durch die Gletscherwirkungen aus der V- in die U-Form übergeführt worden ist.

Nach dem Glimmerschiefer kommt wieder Phyllit, in welchem das Tal noch bis 2 km unterhalb des Gletscherendes bleibt. Einige Gesteine, welche in der Phyllitzone noch auftreten, aber nicht anstehend, sondern nur in abgestürzten Blöcken gefunden wurden, mögen hier Erwähnung finden. Es ist Serpentin und wahrscheinlich mit ihm vergesellschaftet Strahlstein mit Talk, ferner Garbenschiefer. Diese Gesteine müssen nördlich des obersten Koprsaitales anstehen.

Die Grenze des Phyllitzone setzt spitzwinklig durch das Tal in ONO-WSW Richtung. Die südlich folgende Zone besteht aus Kalk und porphyrischen Gesteinen. Die Berührung beider Zonen habe ich an verschiedenen Stellen im Detail untersucht. Zur leichteren Orientierung sei zunächst auf die Zeichnung (Fig. 13) verwiesen. Sie gibt den ersten Anblick auf die Kalkzone für den im Koprsaital aufwärts Gehenden. Von rechts mündet hier, wo das Koprsaital aus SW kommend nach N umbiegt, ein Seitental aus SO. Zu beiden Seiten im Vordergrund stehen die Amphibolgesteine an, welche dem Phyllit eingelagert sind. Jenseits des breiten Talbodens des Koprsai steht noch Phyllit an in einem nach WSW schmäler werdenden und zur Talsohle sich herabsenkenden Streifen. Über ihm liegt eine helle, mauerartig aus dem Gehänge vortretende Zone von Kalkstein und über dieser erheben sich Felshänge aus dunklerem Gestein, die Quarzporphyre.

Im einzelnen ist die Grenze zwischen Phyllit und Kalk nicht so einfach und scharf ausgeprägt, wie es aus der Ferne den Anschein hat und zwar deshalb, weil nahe der Grenze dem Phyllit mehrere Kalkzüge eingeschaltet sind. Es soll daher die Beschreibung der drei Stellen erfolgen, an welchen ich die Grenze genau untersucht habe. Es sind dies die drei Punkte a, b, c der Kartenskizze (Fig. 14).

a: von der Vereinigung der beiden (Fig. 15) Flüsse hinauf zum Eckpfeiler zwischen Koprsai und rechtem Seitental. Unten Gehängeschutt, dann grauschwarzer gefältelter Phyllit mit Quarzlagen. Konkordant (N 80 O, 65 S) 20 m dunkelgraue Kalkschiefer, auf welche sich eine Schicht von dunkelgrauem und eine von weißem Marmor legt. Es folgt

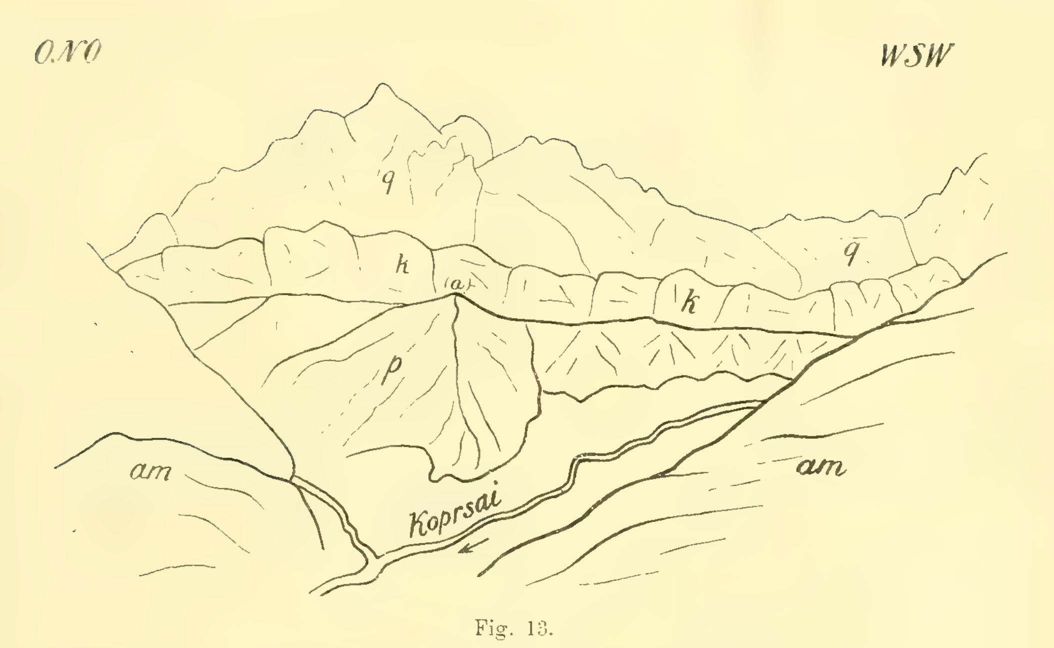


Fig. 13.

Blick vom Koprsaital nach S auf die zentrale Zone, Kontakt von Phyllit (p) mit Unterkarbonkalk (k). Im Hintergrund Quarzporphyr (q), vorn Amphibolit (am) in der Phyllitzone. Punkt a siehe Fig. 14 und 15!

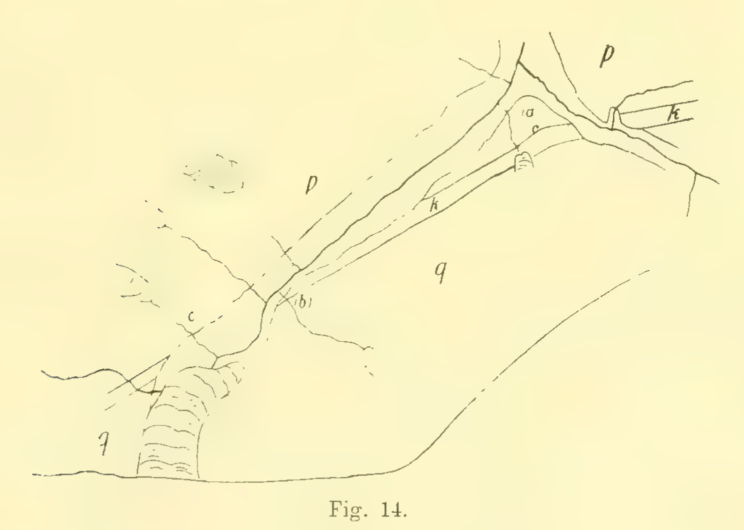


Fig. 14.

p = Phyllit. k = Unterkarbonkalk. q = Quarzporphyr.
Skizze des oberen Koprsaigebietes. M. 1 : 100000. Punkt a, b, c siehe Fig. 15, 16, 17!



Fig. 15.

wieder Phyllit, diesmal grüner, 50 m, darauf 5 m dunkelgrauer Marmor, wenig hellgrüner Phyllit, 10 m grauschwarzer, 4 m grüngrauer, dann harter rötlicher Phyllit, der nach oben an Härte verliert und nach 15 m in grauen übergeht. Dieser ist 30 m mächtig. Dann kommt grauer und weißer Marmor, der bis hinauf zum Eckpfeiler und darüber hinaus nach Süd bis zur tiefsten Einschartung in dem zur Höhe weiterziehenden Grat ansteht. Er scheint diskordant zum Phyllit zu liegen, N 75 O, 80 S, seine Mächtigkeit beträgt 100 m. Südlich davon kommt wieder rotbrauner Phyllit, der noch eine Marmorbank einschließt und, getrennt von ihr, eine Bank vollständig zu Breccie zertrümmerten Kalkes, in welcher das Bindemittel kalkig ist, die Trümmer aber dolomitisch sind. Der rotbraune Phyllit geht in grauen über und auf ihn folgt der durch seine Farbe schon vom Tal aus auffallende blaugrüne Phyllit. In ihm befinden sich häufig, und zwar meist den Schichten entsprechend, gelbbraune Partien, welche stark zersetzt und mit Eisenoxyden angereichert sind. Der blaugrüne Phyllit ist 70 m mächtig, dann kommen noch 10 m lichter grüner Phyllit. Die Phyllite nach dem rotbraunen fallen mit 40° nach Süd und sind durch eine Verwerfung von dem rotbraunen Phyllit mit der Marmorbank getrennt. Nach dem letzten Phyllit schwingt sich der Grat empor. Er besteht aus dem Kalk, der schon von unten erkennbar ist und den Beginn der zentralen Zone bezeichnet. Schichtung ist hier nicht sichtbar.

Der Kalk im Phyllit ist schwarz und grau, stark kristallinisch, dünngeschichtet oder ohne deutliche Schichtung und besonders am Eckpfeiler stark zertrümmert und durch Kalkspat und Quarz wieder ausgeheilt.

b: 2 km unterhalb des Gletscherendes (Fig. 16) steigt der rechte Hang steil an bis 400 m über Tal. Nach Überwindung dieses Steilhanges kam ich in ein kleines, S-N verlaufendes Tälchen, in dessen karförmigem Hintergrund ein kleiner, stark zurückgegangener Gletscher liegt. Ich erhielt folgendes Profil: Phyllit fehlt hier, der Kalkzug tritt unmittelbar an das Tal heran und steigt mit steilen Wänden empor. Der Kalk ist meist in Marmor umgewandelt derart, daß er aus einem Wechsel von dunklem und hellem Marmor besteht. Im Marmor zwei Einlagerungen von stark gefaltetem Kalkphyllit, welcher leichter verwittert als der Marmor und dessen Oberfläche deshalb zwei vom Tal aus sichtbare begrünte Bänder bildet, die sich nach unten vereinigen. Im allgemeinen fallen die Schichten, soweit erkennbar, mit 50° S bei N 85 W Streichen. Doch sind lokale Störungen vorhanden, so im dünnplattigen Kalk N-S Streichen und 35 W Fallen. Am oberen Ende des

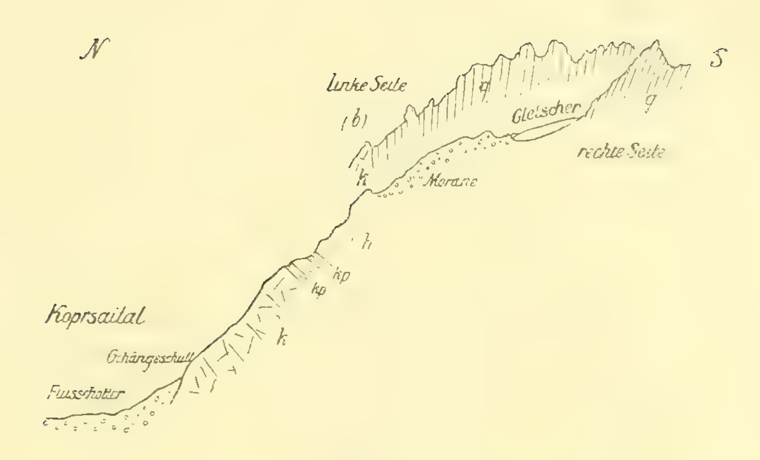


Fig. 16.

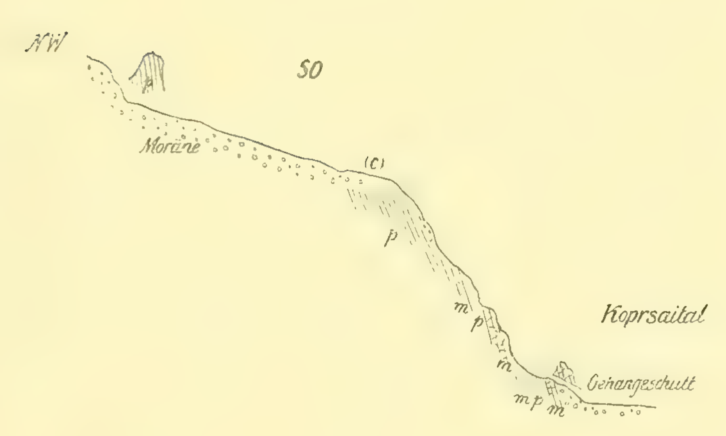


Fig. 17.

Fig. 15, 16, 17. Drei Profile an der Grenze zwischen Phyllitzone und zentraler Zone im oberen Koprsaital.

p = Phyllit
m = Marmor
ks = Kalkschiefer
br = Kalkbreccie
} Gesteine der Phyllitzone.

k = Kalkstein, z. T. in Marmor umgewandelt
kp = Kalkphyllit
q = Quarzporphyr
} Gesteine der zentralen Zone.

Die Punkte a, b, c entsprechen denen auf Fig. 14.

Steilhanges legt sich an den Marmor konkordant eine Serie von dunkelgrünen bis hellgrünen und weißlichgrünen, höher auch violetten Gesteinen, teils deutlich, teils undeutlich oder gar nicht porphyrisch und stets gebankt. In ihnen kommen Partien von weißem und grünlichem, lokal gerötetem Sericitschiefer vor, die im Querbruch deutliche porphyrische Struktur zeigen und sich somit als umgewandelte Quarzporphyre zu erkennen geben. Auch die anderen Gesteine müssen als Quarzporphyr bezeichnet werden.

c: zwischen b und der Gletscherzunge (Fig. 17) fließen zwei Bäche vom linken Hang herab. In der Rinne des zweiten, näher am Gletscher gelegenen, stieg ich hinauf. Wo der Bach in das Koprsaital austritt, steht Kalk an. Er ist rechts des Baches marmorisiert, grau, dünngeschichtet, mit dünnen Quarzlagen. Seine Fortsetzung links des Baches ist erodiert. Hier tritt als erstes gelblicher Marmor auf in einer Mächtigkeit von 10 m, konkordant mit dem Kalk rechts. Dann beginnt die Zone der Wechsellagerung zwischen Kalk und Phyllit. Auch hier wieder findet, ebenso wie bei a, kein plötzlicher Wechsel statt, sondern der Übergang geht in der Weise vor sich, daß Kalk- bzw. Marmorlagen mit Schieferlagen abwechseln und erst nach ungefähr 150 m, quer zum Streichen gemessen, ausschließlich Phyllit ansteht. Im einzelnen sehen wir folgendes:

Stark zerbrochene und bei Schlag leicht zerfallende Chloritschiefer mit mehr oder weniger rosa Quarz in Lagen und Linsen, die bis 4 cm Dicke erreichen, konkordant mit dem Marmor. Dazu Breccien von Schiefermaterial und Kalktrümmern, ganz regellos durcheinander gemischt. Dann kommt stark zertrümmerter, zu hellgelbem Sand verwitterter Kalk, der noch mit wenig Schiefermaterial injiziert ist. Lichtgelber, massiger Quarzit. Sandig zerfallender, schmutzigweißer Marmor, dünngeschichtet. Es folgt grauschwarzer Phyllit mit Quarzlagen, stark gefältelt, dann weißer und grauer Quarzit mit sericitischen Häuten, lichter weißer und grauer Marmor. Die Mächtigkeit dieser ganzen Zone beträgt nur 25—30 m. Es folgt eine Steilstufe, über die der Bach herabstürzt. Sie besteht aus dunklen Kalken und hellem Marmor, 30 m mächtig, darauf folgt 20 m grauschwarzer Phyllit, 5 m heller Marmor und dann nur noch grauschwarzer Phyllit, der bis zum oberen Ende des Steilhanges aufgeschlossen ist in einer Mächtigkeit von 100 m. Er streicht hier ungefähr O-W und fällt mit 75° S. Ältere Moränen bedecken weiterhin das anstehende und erst am unteren Ende der heutigen Endmoräne ist wieder ein Aufschluß von grünem Phyllit, O-W, 70° S.

Wir sehen aus diesen drei Profilen folgendes: in die Phyllitmasse schalten sich Kalklager ein, welche von 1 m bis zu 100 m Mächtigkeit erreichen und konkordant mit dem Phyllit liegen. Es sind das in der Phyllitzone gewachsene Kalke, wie sie ja auch an anderen Stellen (Agiaslängstal z. B.) angetroffen wurden. Gleichzeitig mit dem Phyllit sind diese Kalkzüge metamorphosiert worden. Auf die Phyllitzone legt sich nun transgressiv der Kalk der zentralen Zone. Ganz sichere Beweise für die Transgression sind allerdings hier nicht zu finden, aber nach allem, was über die Kalke der inneren Ketten des Tian-Schan (durch Keidel und Gröber) schon bekannt ist, sind wir zur Annahme der Transgression auch für diesen Teil des Gebirges berechtigt.

Die ganze Zone ist ein Gebiet starker Störungen, das beweisen bei a die Breccie, das ungleiche Streichen und Fallen der Phyllite nördlich und südlich des Eckpfeilers und die Diskordanz des Marmors zum liegenden Phyllit und bei c die intensive Zerrüttung und Zermalmung der Gesteine.

Die Fortsetzung der Grenze zwischen Phyllit- und Kalkzone ist noch in dem rechten Seitental zu sehen, welches östlich von a aus der Kalkzone herauszieht. Im Tal selbst ist die Grenze nicht sichtbar, alte Moränen und Gehängeschutt verdecken hier das anstehende Gestein. Dagegen tritt sie in dem untersten rechten Seitental gut hervor. Dieses Tälchen läuft gerade auf der Grenze. Der Kalk bildet, links des Baches, einen kecken Turm und im Talhintergrund eine Pyramide. Nördlich dieser Berge an ihrem Fuß zieht die Grenze gegen den Phyllit entlang und ist bis zu dem das Tälchen abschließenden Kamm sichtbar. Auch hier liegt südlich dieses Kalkes Quarzporphyr und erst weiter talauf erscheint die Hauptmasse des Kalkes.

Ebenso wie nach O bzw. ONO setzt sich die Grenze nach WSW fort. An dem zum untersten Teil des Koprsaigletschers abfallenden Gehänge treffen wir die Phyllite mit den Kalkzügen wieder, allerdings schlecht aufgeschlossen. Jedoch ist zu erkennen, daß auch hier Wechsellagerung von Phylliten und mit Quarz injiziertem Kalk bzw. Marmor stattfindet wie bei c. Streichen und Fallen N 65 O, 85 S. Die Grenze zieht weiter und setzt schräg über das in den Gletscher mündende linke Seitental. Die untersten 200 m seines Laufes liegen in grünem Quarzporphyr, ober diesem setzt der Kalk der zentralen Zone in einer Breite von 80—100 m durch das Tal. Der Bach hat in beiden Gesteinen eine enge Schlucht ausgearbeitet, welche 100 m unter einer früheren Talstufe liegt. Talauf folgen nun die Phyllite und ihr Erscheinen tritt schon morphologisch deutlich hervor. Das Tal ist breit, die Hänge sind weniger steil, die Bergformen sanfter.

Wir gehen zur zentralen Zone über. Die Entfernung von ihrem Nordrand bis zum wasserscheidenden Kamm (denn meine Untersuchungen reichen nur so weit) beträgt rund 20 km. Der Koprsaigletscher zieht in S-N Richtung vom Hauptkamm herab und endigt direkt südlich des schon besprochenen Kalkzuges. Der Gletscher bietet somit Gelegenheit, den Bau dieser Zone kennen zu lernen.

Beiderseits stehen die porphyrischen Gesteine an. Sie erscheinen in verschiedenen Farben, von dunkel- zu hell- und weißgrün, dann von hell- zu dunkelrot und violett. Eine bestimmte, nach einer Richtung hin stattfindende Farbenänderung ist nicht vorhanden, denn wenn auch die dunkelgrünen nach S allmählich heller werden und schließlich in hellrote, diese in dunkelrote und violette übergehen, so kommen doch nach den violetten wieder grüne und rote Schichten. Die Gesteine sind mehr oder weniger deutlich porphyrisch, meist gut gebankt in dickeren oder dünneren Lagen. Ausgesprochene Quarzporphyre kommen nur selten vor, ebenso graue Hälleflinta und die (von b erwähnten) Sericitschiefer. Näheres über diese Bildungen wird in dem Abschnitt über die Gesteine des Gebietes gesagt, jetzt sei nur bemerkt, daß der zu diesem Komplexe gehörige Granit in dem ganzen Gebiete nirgends an die heutige Oberfläche zu kommen scheint. Dagegen fand ich in den Moränen des Koprsaigletschers einige Stücke, welche dafür sprechen dürften, daß die Annahme eines in größerer oder geringerer Tiefe steckenden Granitmassives richtig ist, nämlich Diorit, der ja schon von verschiedenen Stellen in Verbindung mit Granit beschrieben wurde, und grünen Biotitgneiß mit Hornblende. Endlich deutet auch die anschließend zu beschreibende Metamorphose, welche die mächtigen Kalkmassen der zentralen Zone erlitten haben, auf ein Tiefengestein in der Nähe hin, ebenso wie die anstoßende Zone der Phyllite.

Die porphyrischen Gesteine streichen N 85 W und fallen steil N oder S oder stehen senkrecht. Die ganze Zone hat eine Breite von 10 km, quer zum Streichen gemessen, und ihre Gipfel ragen 400 bis 600 m über den Gletscher empor.

Südlich bildet ausschließlich Kalk das anstehende Gestein. Die Grenze zieht quer über den Hauptgletscher, verläuft südlich des linken Seitengletschers und setzt rechts über den dort mündenden Seitengletscher hinüber auf dessen Nordseite.

Der Kalk ist in seiner ganzen Ausdehnung kontaktmetamorph beeinflußt und die Partien zunächst dem Kontakt mit den porphyrischen Gesteinen sind vollständig in Marmor umgewandelt. Der Marmor ist meist weiß und grau, es finden sich aber auch Stücke von grobkörnigem rosa Marmor, der Lagen von grünen Glimmermineralien enthält. In den oberen Teilen des Gletschergebietes tritt Wechsellagerung von weißem und grauem Marmor mit schwarzen und schwarzbraunen, z. T. dolomitischen Kalkschiefern auf. Sie sind äußerst stark gepreßt und gefaltet, mit massenhaftem rötlichgelbem Glimmer imprägniert, von Quarzgängen durchsetzt und enthalten z. T. große, stenglige Turmaline. An einzelnen Stücken sieht man Wechsel von hellen kalkigen und schwarzen dolomitischen Lagen. Teilweise sind die Schiefer bituminös und sehr dünnschiefrig. Fossilien wurden keine gefunden, wenn auch einige Stücke den Eindruck von Korallenkalken machen, so läßt sich doch bei dem Fehlen jeglicher Struktur in den für Korallen gehaltenen Resten dies nicht feststellen. Im weißen Marmor sitzen manchmal kleine Granaten, Chloritblättchen und Schwefelkies, ferner fand ich zwei Stücke von weißem marmorisiertem Kalk, welche durchsetzt sind von langen stengligen Kristallen von Skapolith.

Die Lagerung des Kalkes bzw. Marmors ist, soweit sich dies erkennen ließ, folgende: die unteren Partien fallen meist bei NO—SW Streichen mit 40° SO, höher oben, dort, wo der Hauptgletscher sich nach O wendet, 20° SO. Doch finden sich auch schwach S fallende und horizontal liegende Partien, so bei dem in das Firnbecken mündenden Gletscher. Überhaupt scheint in der Umgebung des Firnbeckens und südlich des oberen, O-W verlaufenden Teiles des Hauptgletschers schwach S fallende bis horizontale Lagerung vorzuherrschen. Schon vom Tal aus ist dies deutlich sichtbar an den beiden höchsten Bergen südwestlich des Firnbeckens, bei denen weißer Marmor mit schwarzem Marmor oder Kalkschiefer wechsellagert. Daneben werden natürlich größere oder kleinere Schollen mit abweichender Lagerung vorhanden sein. Die gewaltige Eis- und Schneebedeckung läßt aber keine genauen Aufnahmen zu.

Khaptnsutal.

15 km östlich des Koprsai mündet der zweitgrößte Nebenfluß des Agias, der Khaptnsu. Sein Tal bietet im wesentlichen die gleichen Verhältnisse wie das Koprsaital; ich kann daher die Beschreibung kürzer fassen.

Die untere Hälfte des Tales bis zu der Vereinigung des S- und O-Tales liegt in der Phyllitzone. Die Schichten streichen quer zum Tal. Rechts ist eine Antiklinale mit zerstörtem First zu sehen, Nordflügel 30°, Südflügel 20—25°. Weiter flußauf stehen links Glaukophanschiefer, z. T. mit Granatcordierithornfels, und Amphibolit an. Diese Gesteine fallen mit 30—20° NW, liegen dann nahezu horizontal und fallen später wieder mit 30—40° N. Nach ihnen steht wieder, wie unten, Quarzphyllit an mit intensiver Fältelung.

Der O-W ziehende Arm des Khaptusu liegt noch ganz in der Phyllitzone. Er verläuft in sehr spitzem Winkel mit der Hauptstreichrichtung und bietet wenig Bemerkenswertes. Im unteren Teil ist dem Phyllit eine Kalkbank eingeschaltet, das Streichen der Phyllite ist N 65 O, das Einfallen steil S oder senkrecht. In den von S, von der Hauptkette kommenden Tälern, sieht man im Hintergrund die Kalkberge aufragen.

Gehen wir nun im Südtal aufwärts, so sehen wir große Übereinstimmung mit dem obersten Koprsaital. Der Phyllit fällt bei W-O Streichen 80—70° S, weiter talauf nur 60° S. Später scheint er N 65 O zu streichen. Sicher tut dies eine dem Phyllit eingeschaltete Lage von blaugrünem Glimmerschiefer, 45° S fallend. Das Tal, bisher meist enge Schlucht, wird breiter und ist von Schutt erfüllt, bald aber springt von rechts ein Felssporn vor und drängt den Bach nach W. Hier ist die Grenze zwischen Phyllit- und Kalkzone. Der Kontakt beider Zonen ist nicht aufgeschlossen. Der Felssporn besteht aus schwarzem, fossilführendem Kalk, welcher meist stark kristallinisch, z. T. auch schiefrig ist. Bedeutende Teile des Kalkzuges, der 150—200 m Breite hat, sind in weißen Marmor umgewandelt. Streichen N 65 O bei senkrechter Schichtstellung. Der Kalk hat auch starke mechanische Beeinflussung erlitten so, daß die Störungen oft auf Schichten beschränkt sind, welche zwischen solchen ohne erkennbare Störung liegen. Man sieht dann Auszerrung und Verdrückung von Schichten zwischen ganz normalen, ferner kleine Verschiebungen längs Brüchen, die mit Kalkspat ausgeheilt sind, lokale starke Faltungen, welche sich durch den Wechsel dunkler und heller dünner Schichten gut erkennen lassen. Auf den Schichtflächen ist der Marmor häufig mit Glimmer imprägniert.

Die Fossilien sind nicht gut erhalten und stratigraphisch wenig brauchbar. Immerhin ist es sehr wahrscheinlich, daß auch dieser Kalk, wie überhaupt der Kalk der gesamten zentralen Zone, oberes Unterkarbon repräsentiert, das im Tian-Schan ja so weit verbreitet ist. Ich fand: Fenestella, Crinoideen, Korallen, schlechte Gastropoden und Brachiopoden sowie einen ? Orthocerasrest.

Südlich des Kalkes beginnt die Zone der porphyrischen Gesteine mit einem rotbraunen Quarzporphyr, dem gleichen Gestein, das auch am Koprsaigletscher vorkommt. Es ist deutlich gebankt und zwar konkordant mit den Schichten des Kalkes, N 65 O, senkrecht. Talauf geht der Porphyr über in grüne porphyrische Gesteine, und es kommt weiter am Gletscher die gleiche unteilbare Masse von mehr oder weniger porphyrischen Gesteinen wie am Koprsaigletscher. Das von diesen Bildungen bedeckte Gebiet ist noch größer als dort, denn die gesamte Umrahmung des aus SO herabziehenden Gletschers und fast die ganze des größeren aus S kommenden liegen in den porphyrischen Bildungen, und diese erreichen hier eine Breite von 15 km. Man sieht bei dem Aufstieg zum Paß über den SO Gletscher, wie sich die durchaus deutlich gebankten Gesteine allmählich flacher legen und von senkrechter Stellung im N alle Zwischenstufen bis zu 15° Nordfallen am Paß durchlaufen, bei ungefähr W-O Streichen. Sie erstrecken sich über den erstiegenen Paß im Hauptkamm nach S hinaus. Es tritt also hier der Kalk erst jenseits der Wasserscheide auf und zwar südwestlich des Passes in einem Doppelgipfel, welcher aus hellem Marmor besteht, soweit die Schneebedeckung das anstehende Gestein sichtbar werden läßt. Die Kalkzone setzt sich nach O und NO fort und südöstlich des Passes bildet sie einen breiten Bergrücken.

Wir sehen also einen Unterschied gegenüber dem Koprsai insofern, als die größere Ausdehnung der porphyrischen Gesteine den Kalk aus der zentralen Lage verdrängt. Die Wasserscheide, welche im W und O im Gebiet des Kalkes liegt, geht hier auf die porphyrischen Gesteine über, welche im Khaptnsugebiet ihre größte Ausbreitung erlangen. Von hier nehmen sie nach W und O rasch ab, wie die Übersichtskarte (Taf. 1) zeigt.

Grosses Musarttal.

Der große Musart entsteht in der langen Furche des Musartpasses aus den Schmelzwassern der von O und W zu der Paßdepression herabziehenden Gletscher. Steil senkt sich zuletzt die Paßfurche nach N hinab, und der Musartbach tritt in sein Längstal, welches nur 4 km lang ist. Genetisch muß aber das von W zum Musarttal herabziehende Turaschutal als der Oberlauf des Musart betrachtet werden, denn es liegt in seiner Verlängerung nach W und birgt heute noch einen bedeutenden Gletscher, der vom Dondukolpaß herabkommt. Es wird bei der Darstellung der geologischen Verhältnisse gezeigt werden, daß auch sie diese Annahme stützen. Auch an der Umbiegung nach NW erhält der Musart einen bedeutenden Zufluß von dem von O herabziehenden großen Talgletscher Kai-Jailak, der eine dem Turaschugletscher analoge Lage hat. Nachdem zieht das Tal in NO Richtung als Quertal weiter und verläuft zuletzt, nach Vereinigung mit dem Dondukoltal, in N Richtung bis zum Austritt aus dem Gebirge.

Wenig westlich davon bildet Melaphyrmandelstein am Rande der Tekesebene eine niedrige, schmale Hügelzone, die sich vermittelnd zwischen Gebirge und Ebene einschiebt. Nach W reicht der Melaphyr bis zu den Mukur-mutu-Tälern; die isolierten Hügel, welche sich noch weiter nach W erheben, bestehen aus Kalk. Man sieht grauen Breccienkalk, sehr hart, grauen kristallinischen Kalk mit roten Putzen, dichten dunkelgrauen Kalk mit Breccien von Fossiltrümmern. Es ist Kalk des oberen Unterkarbons, der transgressiv auf älteren Gesteinen, nach Analogie mit der Lagerung in den Mukur-mutu-Tälern[1]) wohl auf Granit liegt. Nachträgliche Faltung hat die O-W streichenden Schichten hier an einem der Hügel muldenförmig aufgerichtet. An der Ostseite dieses Hügels setzt eine Querverwerfung durch den Kalk, und die kleine Scholle östlich der Verwerfung zeigt um 80^0 verschiedenes Streichen und fällt steil S (N 10 O, 65 S). Es herrschen hier die gleichen Verhältnisse wie weiter westlich, von wo Keidel sie beschrieben hat. Der Rand des Gebirges bildet eine Trümmerzone und ist von Längs- und Querverwerfungen durchschnitten. Die Folge dieser tektonischen Vorgänge war die Entstehung des Tekesbeckens, welches eine zwischen dem Chalyktau im S und Temurlyktau im N eingebrochene Scholle darstellt. Östlich der Mukur-mutu-Täler ist an solchen Längsbrüchen der Melaphyr emporgedrungen. Er reicht nach O nicht über das große Musarttal hinüber. Einige isolierte Hügel nördlich des Ausflusses des großen Musart aus dem Gebirge bestehen aus Granit, der auch das Gebiet nach S bis oberhalb der Vereinigung des großen Musart und Dondukol bildet. Es ist ein ziegelroter, grobkörniger Biotitgranit, der von grünlichweißen Apliten durchsetzt ist.

---

[1]) Keidel, Geologische Übersicht über den Bau des zentralen Tian-Schan. Abh. d. Akad. d. Wiss. München, math.-phys. Kl., Bd. 23, 91—192, 1906.

Oberhalb der Mündung des Dondukol, schon in der Phyllitzone, welche jetzt folgt, liegt zu beiden Seiten des Musart ein grauviolettes und grünes Gestein, nach der mikroskopischen Untersuchung ein völlig zertrümmerter und zermalmter Granit, analog den Pfahlschiefern im Bayrischen Wald. Verwerfungen und Brüche durchsetzen in großer Zahl dieses Gestein. Unter ihm liegt Hornblendegabbro mit teilweise gerundeter und geglätteter Oberfläche.

Das Tal wird enger und zieht weiter durch die Phyllitzone. In ihr bleibt es ungefähr 6 km weit. Die Schichten des grünen Phyllites fallen steil S (80°) und streichen zuerst N 25—15 O spitzwinklig mit dem Tal, später ändern sie ihre Richtung und streichen N 40—65 O, sodaß sie fast quer über das Tal wegsetzen. Nahe der Südgrenze des Phyllites finden sich, konkordant, zwei Züge von hellen Quarziten eingeschaltet, in geringem Abstand voneinander. Der südliche Zug ist 10 m breit und besteht aus weißlichem, geschichtetem Quarzit, N 65 O, 80 S. Am nördlichen Kontakt mit dem Phyllit liegen in ihm einzelne blaugrüne Quarzitbänke, am südlichen Kontakt dagegen finden sich Linsen von grauem Quarzit im Phyllit.

Bald nach dem zweiten Quarzitzug ist die Grenze dieser Phyllitzone erreicht. Sie verläuft in der Sohle eines rechten Seitentales und zieht quer über das Haupttal hinweg. Es kommt das innere Granitmassiv. Zunächst stehen Aplite an, dann kommt Gneiß, welcher bald in Granitporphyr übergeht. Darauf treffen wir noch einen zu der Phyllitzone gehörenden Komplex, welcher, im Musarttal selbst wenigstens, von der eigentlichen Phyllitzone durch den Gneiß und Granitporphyr getrennt ist. Auf der rechten Seite öffnet sich ein Kar, in dessen Hintergrund chloritische Schiefer anstehen. Sie enthalten massenhaft Linsen von grauem Dolomit und stehen bis zu einem 1 km weiter südlich gelegenen Tälchen an. Streichen und Fallen konkordant mit dem Phyllit, N 65 O, 80 S. Aus diesem Tälchen bringt der Bach Gerölle von dunkelgrauem Kalk heraus, der im oberen Teil des Tälchens ansteht und eine Einlagerung im Schiefer bildet. Durch die Einwirkung des Granites sind hier Schiefer und Kalk stark zertrümmert und miteinander verknetet worden, wobei die Kalksteine z. T. dolomitisiert wurden.

Es folgt nun das Granitmassiv, welches 13 km breit ist und die Phyllitzone in eine nördliche und eine südliche Hälfte trennt.

Der Granit ist ziemlich verschiedenartig ausgebildet. In der Hauptsache ist es ein blaßroter Biotitgranit von mittlerem Korn. Mit freiem Auge erkennt man die roten Orthoklase, gelbgrünen Plagioklas, farblosen Quarz und grünen Biotit. Im einzelnen zeigen sich Abweichungen von dieser Ausbildung. Neben dem richtunglos körnigen Granit tritt porphyischer mit großen rötlichen Orthoklasen auf (Granitporphyr), die Feldspäte und Glimmer ordnen sich zu Lagen (Augengneiß) und es tritt mehr oder weniger deutlich Parallelstruktur auf. Auch die Farbe wechselt, neben dem blaßroten Granit kommt fleischroter vor, auch hellere Varietäten treten auf bis zu weißlichen Tönen. Durch Überhandnehmen der dunklen Bestandteile erscheinen auch grüne Abarten. Nahe dem südlichen Ende des Massivs nimmt die manchmal in geringer Menge vorhandene Hornblende an Menge zu, sodaß das Gestein hier als Hornblendegranit bezeichnet werden muß. Dioritische und aplitische Facies des Granits ist nicht selten, wie überhaupt der Granit von zahlreichen Apliten durchsetzt ist. Sie sind zum Teil feinkörnig, z. T. mikropegmatitisch, z. T. haben sie auch so grobkörnige, ganz unregelmäßige Zusammensetzung, daß das Gestein besser

als Pegmatit bezeichnet wird. Es liegen dann große Turmaline und Spessartine in der hauptsächlich aus Feldspat- und Quarzbrocken bestehenden Masse regellos zerstreut.

Die übrigen, innerhalb des Granitmassives vorkommenden Gesteine werden besser zusammen mit den tektonischen Verhältnissen besprochen. Wir haben schon gesehen, daß an der Nordgrenze des Massivs mit der Annäherung an den Granit eine Zunahme des Grades der Metamorphose eintritt: der Phyllit wird ersetzt durch chloritische Schiefer. Der Granit selbst ist am Rande schiefrig ausgebildet (Gneiß) und erst in einiger Entfernung davon kommt der normale Granit mit seiner wechselnden Ausbildung zu Tage. In ihm treten Hornblende- und Uralitsaussuritgabbro auf. Der Granit ist hier auf der rechten Talseite gut aufgeschlossen und man kann in den Schutthalden am Fuß der Wände die verschiedenen Abarten sammeln.

Die Seitentäler des mittleren Musarttales habe ich nicht begangen. Es sind dies rechts das Altunbulaktal, links 1 km unterhalb des ersteren das Kotanbulak und weitere 3,5 km flußabwärts, ebenfalls links, das Chamer-dawan-Tal. Nach den Geröllen zu urteilen, welche der Kotanbulak aus seinem Tal herausführt, stehen dort die gleichen Gesteine an wie im mittleren Musarttal. Es sind hauptsächlich Granite mit z. T. granatführenden Apliten, ferner dioritische Facies von Granit und Quarzdiorit, dann Augengneiße und feinkörnige Gneiße, welche allmählich in Glimmerschiefer übergehen. Von basischen Eruptivgesteinen findet sich Gabbro und als Umwandlungsprodukt Eklogit. Im Chamer-dawan-Tal scheinen die gleichen Gesteine anzustehen, zu welchen noch Strahlsteinschiefer treten.

Der Kamm zwischen Musart und Altun-bulak senkt sich flußabwärts stark und bildet bei der Mündung des Altun-bulak nur noch einen niedrigen, terrassierten Rücken. Er wird von grünen Glimmerschiefern gebildet, welche N 75 O streichen und durch Längsverwerfungen in eine Anzahl kleiner Schollen zerteilt sind. Die Schichtpakete der einzelnen Schollen haben bei stets gleichem Streichen ganz verschiedenes Fallen, welches von 40° S bis zu senkrechter Stellung schwankt (Fig. 18).

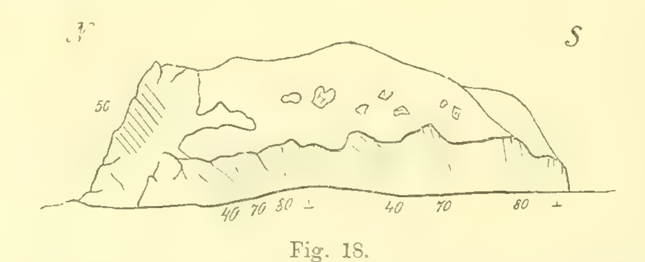


Fig. 18.

Rücken zwischen gr. Musart und Altun-bulak. Stark gestörte Glimmerschiefer.

Nach S geht der Glimmerschiefer bald in Gneiß und dieser in Granitporphyr über, der bis zur höchsten Erhebung des Kammes und darüber hinaus nach S reicht. Nur an einer Stelle ist ihm ein 20—30 m mächtiger Kalkzug eingelagert. Der Kontakt mit dem Granit ist nicht aufgeschlossen und die herumliegenden Steine können ebensogut wie vom Kontakt von den Moränen stammen, von denen Reste bis zu großer Höhe hinauf liegen. Der Kalk zieht in N 35 O Richtung hinab ins Tal und setzt auf der linken Seite fort, wo am Fuß einer Wand mit einer seichten, steilen Rinne Trümmer des grauen Kalkes, sowie

weißer marmorisierter Kalk liegen. Auf der rechten Seite legt sich an den Fuß des Kammes eine 8 m hohe, 20 m breite Terrasse aus Flußschottern, die mit steilem Abbruch zum Talboden abfällt. An der Stelle, wo der Kalkzug das Tal quert, treten am Fuß der Terrasse warme Quellen zu Tage (24 und 30°), welche in sehr primitiver Weise von den Eingeborenen zu Bädern benützt wurden.

Südlich des Kalkzuges steht auf beiden Talseiten Granitporphyr an, hie und da mit sauren oder basischen Ausscheidungen, Aplit und Gabbro. Links ist weiter talauf, da, wo das Tal eine starke Biegung macht, der Granit als Hornblendegranit entwickelt. Oberhalb der Brücke zieht im rechten Hang eine enge Steilschlucht herab und nördlich davon maß ich in gneißartigem Granit N 65 O, 50 S, also die gleiche Streichrichtung, welche in der äußeren Phyllitzone bis weit talabwärts zu treffen ist. Dioritische Ausbildung des Granites nimmt weiter nach S stark überhand, daneben finden sich aber auch die pegmatitischen Aplite in besonders schöner Ausbildung.

Etwa $3^1/_2$ km unterhalb des 3. Pikets ist die Südgrenze des Granitmassivs erreicht, die ungefähr quer durchs Tal streicht. Ihre genaue Festlegung ist hier schwer möglich, denn im Tal selbst liegen mächtige Schottermassen und die Hänge zu beiden Seiten sind fast durchaus begrast und bieten nur selten Aufschlüsse.

Auch hier am Südrand liegt zwischen Granit und Phyllit eine Übergangszone (Gneiß, Glimmerschiefer, injizierte Schiefer), auch hier ist also, ebenso wie am Nordrand, der kontaktmetamorphosierende Einfluß des Granites auf die Schiefer unverkennbar.

Der Phyllit streicht N 75 O und fällt mit 80° S oder steht senkrecht. Er reicht nach S bis zum Längstal des Musart, welches auf der Grenze zwischen Phyllit und der südlich folgenden zentralen Kalkzone verläuft. Nach O zieht die Grenze über den unteren Teil des Kai-Jailakgletschers empor. Man sieht in dessen Endmoräne beim 3. Piket nur Kalk und Marmor und wenig porphyrische Gesteine, während Phyllite gänzlich fehlen. Sie sind auf die rechte Seitenmoräne beschränkt und infolge der Neigungs- und Bewegungsverhältnisse des Gletschers, dessen Oberlauf ganz in der Kalkzone liegt, gelangen keine Phyllittrümmer in die Endmoräne.

Vom obersten Musarttal aus konnte ich noch einige detaillierte Untersuchungen in der Phyllitzone ausführen.

Steigt man vom Ende des Turaschugletschers (das Turaschutal mündet von W in das Musartlängstal) nach N die steilen Hänge hinauf bis zu einem Berg, ca. 3900 m, der in dem Kamm zwischen dem Längstal und einem nördlichen kleinen Seitental des Musart aufragt, so erhält man folgendes Profil: bis 200 m über dem Talboden liegen alte End- und Seitenmoränen. Dann beginnt das anstehende mit einer Phyllitserie. Erst kommt graugrüner gefältelter, seidenglänzender Quarzphyllit, W-O, 80 S, in einer Breite von 50 m, dann 200 m grüner Quarzphyllit, zuletzt dunkelgrauer, dünnschiefriger Phyllit mit lebhaftem Seidenglanz, 150 m.

Darauf folgt ein an den Rändern geschichteter, in der Mitte klotziger Zug von dioritischem Grünstein und nach ihm grünlichweißer Glimmerschiefer. Während nun in den Phylliten und im Grünstein die Streichrichtung durchwegs W-O war bei steilem Fallen, zeigt der Glimmerschiefer N 35—55 O und steht senkrecht. Er bildet weiter bergauf das anstehende. 700 m über dem Talboden traf ich einen 9 m breiten Kalkzug, Richtung

N 80 O, senkrecht stehende Schichten. Er liegt im Glimmerschiefer, der nach N bald in Phyllit übergeht. Im einzelnen erhielt ich folgende Reihe:

S: Glimmerschiefer,
Knotenglimmerschiefer,
Kalkglimmerschiefer 80 cm,
weißgrauer Marmor mit Muskowit
gebankter Grünstein
grauer Kalk mit Muskowit
lichtgrauer Marmor mit Muskowit und Schwefelkies } 9 m,
Chloritschiefer 1,5 m,
Knotenglimmerschiefer.
N: grüner Phyllit.

Weiter oben traversierte ich den Hang westlich des Gipfels und sammelte hier folgende Gesteine: Sericitschiefer, Ophikalzit, Grünstein, Knotenglimmerschiefer, schiefriger Kalkstein. Da hier das anstehende ganz von Schutt verdeckt ist, konnte ich keinen Einblick in die Lagerung dieser Gesteine gewinnen. Erst am Gipfel selbst gelangte ich wieder zu anstehendem Gestein. Die Schichten streichen hier spitzwinklig zum Kamm, so daß die verschiedenen Zonen über ihn hinüberziehen. Schwarzgrauer, stark kristallinischer Kieselkalk steht hier an, 30 m mächtig. Im Schutt liegen Knoten- und gewöhnliche Glimmerschiefer, wenig östlich Gipfel braungrauer Glimmerschiefer, dann dioritischer Grünstein, der nach O bald von fleckigem Glimmerschiefer abgelöst wird. Auch westlich vom Gipfel setzt ein Grünsteinzug über den Kamm. 1 km östlich Gipfel, bis wohin verschieden farbige Glimmerschiefer anstehen, streicht ein 20 m breiter Kalkzug über den Kamm. Beim Abstieg von hier nach S zum Musarttal kommt man durch eine Serie von Glimmerschiefern und Phylliten, wobei erstere im allgemeinen in den oberen, letztere in den unteren Partien des Gehänges auftreten. Streichen und Fallen N 75 O, 80 S, ganz unten N 80—90 O, ⊥.

Weitere Beobachtungen habe ich im Turaschutal und am Dondukolpaß (3700 m) gemacht, welcher den Übergang von jenem zum Dondukoltal vermittelt.

Der Paß liegt auf der Grenze zwischen Phyllit- und Kalkzone. Am Paß selbst steht schwach porphyrischer Biotitgranit an, nördlich davon grüner Phyllit.

Beim Abstieg ins Turaschutal findet man in den Schutthängen, die fast die ganze Nordseite des Tales bedecken, verschiedene Phyllite und Quarzphyllite, ferner Hornblendegabbro und ein sehr hartes, grünes Gestein mit massenhaften weißen Kalkspatgängen und -häuten durchsetzt, das angewittert schlackig zerfressene Oberfläche hat. Es ist ein Gemenge von körnigem Kalk und Grünschiefer, welche zusammengeschweißt sind und dürfte entstanden sein durch Beeinflussung von Kalk durch dioritisches Material. Dafür spricht auch das Vorkommen von Quarzdiorit und dioritischem Granit. Vom Paß aus sieht man aus dem Schutt aufragend einzelne klotzige Partien von hellbraun anwitterndem Gestein in ungefährer W-O Richtung hintereinander liegen. Es sind die Reste eines oder mehrerer Kalkzüge, welche mit dioritischem Grünstein verbunden sind. Auch Serpentin fand sich im Geröll. Bei der Vereinigung des vom Paß herabziehenden Tales mit dem Turaschutal steht schwarzer Phyllit an, N 75 W, 70 N.

Zu dem vereinzelten Vorkommen von schwach porphyrischem Granit am Dondukolpaß gesellen sich Stücke von Granitporphyr, welche in der Endmoräne des Turaschugletschers gefunden wurden.

Wir sehen also in der Phyllitzone neben dem Hauptgestein, Phyllit in verschiedener Ausbildung, auch verschiedene Glimmerschiefer mächtig entwickelt und ferner andere Gesteine, welche als Einlagerungen auftreten. Vor allem sind hier die Kalke bemerkenswert, welche in drei Zügen von 30, 20 und 8 m Mächtigkeit vorhanden sind und z. T. weitgehende Umwandlung und Imprägnation mit Mineralien erlitten haben. Dazu kommen Gabbro, Serpentin und Diorit, sowie Zwischenstufen zwischen ihm und Granit, endlich der porphyrische Granit an der Grenze gegen die nächste Zone.

Diese Grenze ist durch die verschiedene Erscheinungsform der Gesteine beider Zonen deutlich sichtbar. Vom Dondukolpaß aus kann man sie auf eine Strecke von 40 km scharf erkennen. Nach W sieht man hinab in den Talschluß des Dondukol und hinüber zu einem Paß, welcher den Übergang zum Saikaltal ermöglicht und ebenso wie der Dondukolpaß auf der Zonengrenze liegt, nach O reicht der (Taf. 8, Fig. 4) Blick durch das Turaschu- und Musartlängstal und über den großen Kai-Jailakgletscher hinauf bis zu den Bergen östlich des Gletschers.

Die Phyllitzone ist charakterisiert durch ziemliche Gleichheit der Formen, durch im allgemeinen gleiche Höhen, durch ausgedehnte Schutthänge und weite begraste Flächen. Sie steht dadurch in auffallendem Gegensatz zur Kalkzone. Hier ist die Individualisierung der einzelnen Berge stark ausgeprägt, die Hänge sind steil und daher meist schuttleer, die Gipfelhöhe ist 1800—2500 m größer als in der Phyllitzone, deren Gipfel etwa 4000 m erreichen. Damit in Einklang steht das vollständige Fehlen von Vegetation und die starke Entwicklung der Gletscher, wodurch der Gegensatz zwischen den dunklen Phyllitbergen und den hellen Felsmassen der Kalkzone noch gesteigert wird.

Das Musartpaßdéfilé hat eine Länge von $8^1/_2$ km und verläuft in N-S Richtung vom Musartlängstal bis zum Dschiparlykgletscher. Es führt also quer zum Streichen durch den nördlichen Teil der zentralen Kalkzone.

Das Hauptgestein ist Kalk bzw. Marmor. Der Marmor ist weiß und grau, z. T. dolomitisch, auch linsenförmige Partien von grauem in weißem kommen vor, der Kalk ist hell- bis dunkelgrau und hat manchmal das Aussehen eines Korallenkalkes.

Außerdem nehmen porphyrische Gesteine, gleich denen, welche vom Agiastal beschrieben wurden, einen bedeutenden Anteil am Aufbau des Gebietes. Sie sind aber lange nicht so mächtig entwickelt wie im Koprsai- und Khaptnsutal und treten nur als beträchtliche Einlagerungen im Kalk auf.

Daneben kommen noch einige Gesteine vor, welche aber keine größere Bedeutung besitzen und nur als Gerölle gefunden wurden. Es sind aplitisch injizierte Schiefer, Epidotfels (umgewandeltes basisches Eruptivum), Grünstein (Uralitdiabas), Hornblendesyenit, brauner feinkörniger Biotitgneiß, schwarzer Phyllit.

Über die Tektonik konnte ich folgendes ermitteln: Die Schichten streichen O-W und setzen über die Paßfurche (3500 m) unverändert fort, so daß also eine Querverwerfung bei der Entstehung nicht in Frage kommt. Dagegen scheinen parallele Längsverwerfungen hier und im Gebiete des Dschiparlykgletschers eine große Rolle zu spielen.

Mit 80° N fallende Marmorschichten (Taf. 2, Fig. 2) steigen steil aus dem Längstal des Musart empor, beiderseits der Furche sind ihnen zwei schmale Züge von grünen Quarzporphyren eingeschaltet, durch einen schmalen Marmorzug voneinander getrennt. Weiter nach S stellen sich die Marmorbänke senkrecht, hier liegt in der Furche selbst eine Steilstufe, welche ebenfalls senkrechte Schichtstellung aufweist.

Südlich von c fallen die Schichten mit 70° S. Von den senkrechten nördlich davon sind sie durch einen Längsbruch getrennt. Der zweite liegt bei b zwischen 70 S und 40 N fallenden Bänken von porphyrischem Gestein und der dritte bei a zwischen N fallendem porphyrischem Gestein und 30—40° S fallenden abwechselnd hellen und dunklen Marmorlagen. Die Verhältnisse der Westseite sind im wesentlichen die gleichen, daher kann ihre gesonderte Besprechung wegfallen.

Südlich des Passes dehnt sich in O-W Richtung der gewaltige Dschiparlykgletscher, der später nach S umbiegt und im südlichen Musarttal endigt. Er liegt noch vollständig in der zentralen Kalkzone, welche südlich des Gletschers mächtige Berge bildet. Man sieht an ihnen vom Musartpaß aus bzw. von dem südlichen Ende des Paßdéfilés die gleiche Zusammensetzung wie am Paß selbst (Kalk bzw. Marmor und Quarzporphyr) und durch die Beobachtungen von Keidel ist nachgewiesen, daß auch im südlichsten Teil der Kalkzone, im südlichen Musarttal, die gleichen Verhältnisse herrschen. Meine Untersuchungen erstrecken sich nur bis zum Südende der Paßfurche da, wo diese steil zum Gletscher abbricht. Er hat hier 1½—2 km Breite. Die Ursache der Entstehung seines Bettes dürfte auf Längsbrüche zurückzuführen sein, analog den am Paß beobachteten und parallel zu diesen, und Grabenbildung.

Wir sehen also am Musartpaß ähnliche Verhältnisse wie im O im Koksu- und Agiasgebiet. Der Kalk ist meist in Marmor umgewandelt und ist von zahlreichen kleineren und größeren porphyrischen Massen durchbrochen, welche als Ausläufer oder Randfacies eines in der Tiefe liegenden Granites betrachtet werden müssen. An einigen Stellen (Dondukolpaß, Turaschutal, Musartpaß) fanden sich, als porphyrischer Granit und als Syenit, Anzeichen, daß dieser Granit nicht weit unter der heutigen Oberfläche sich befindet.

Das Alter des Kalkes läßt sich bei dem Fehlen von Versteinerungen nicht mit Bestimmtheit feststellen; nach Analogie mit anderen, in dieser Beziehung günstigeren Gebieten des Tian-Schan dürfen wir aber annehmen, daß er oberes Unterkarbon darstellt. Der Granit und seine saure Randfacies, der Quarzporphyr, ist jünger als der Kalk und sein Empordringen fällt in die Zeit nach dem Unterkarbon.

Die Gesteine.

Charakteristisch für den Tian-Schan ist die weite Verbreitung von Graniten und dementsprechend die große Ausdehnung des von ihnen beeinflußten Gebietes. Dazu kommt als weitere Eigenart die Lückenhaftigkeit der Sedimentgesteine und ihr Mangel an Versteinerungen. Denn nur ein einziges Sedimentgestein hat in dem bereisten Gebiet an manchen Stellen brauchbare Fossilien geliefert. Die Feststellung der zeitlichen Aufeinanderfolge der verschiedenen Gesteine kann daher entweder durch ihre Lagerung zu der fossilführenden Formation oder auf Grund der durch oder auf die Gesteine ausgeübten Metamorphose erfolgen.

Eine chronologische Tabelle der Gesteine ist also nur möglich unter Bezugnahme auf die tektonischen Verhältnisse und wird später gegeben werden, zugleich soll dort auch versucht werden, die Bildungszeit der Gesteine zu bestimmen. Jetzt soll nur das Wichtigste über Verbreitung und Beschaffenheit der einzelnen Gesteine gesagt werden.

Tiefengesteine.

1. Granite.

Sie haben großen Anteil am Aufbau des Gebirges und sind auf weiten Strecken anstehend zu finden. Das Charakteristische des Granites im Tian-Schan ist sein Auftreten in langgestreckten Massiven, deren Längsachse im allgemeinen mit der Richtung der Gebirgsketten parallel verläuft.

Keidel unterscheidet in dem Teile des Tian-Schan, welcher westlich des von mir bereisten Gebietes liegt, zwei große Abteilungen des Granites: die äußeren und die inneren Massive, und teilt jedes dieser Massive noch in einen südlichen und einen nördlichen Zug. Keidel erwähnt auch, daß der südliche Zug des äußeren Granitmassivs sich bis in das unterste große Musarttal fortsetzt und erst östlich dieses Tales durch die Randbrüche des Tekesbeckens, schief zur Längsrichtung, abgeschnitten wird.

Die Fortsetzung der äußeren Züge treffen wir weiter im O und besonders im N, außerhalb des Chalyktau. Vielleicht steht im westlichsten Teil des Attuintau, der ziemlich isoliert in dem Tekesbecken aufragt, Granit an, der jedoch nur ein kleines Areal bedecken kann. Mächtig ist der Granit dagegen nördlich der Tekesebene entwickelt, wo er die Vorberge des Temurlyktau in einer Breite von etwa 20 km aufbaut (im Meridian des Aulietaschpasses). Von hier nach W nimmt seine Ausdehnung in N-S Richtung noch bedeutend zu und im westlichen Teil des Temurlyktau (bei der russisch-chinesischen Grenze) bildet er fast die ganze Gebirgskette vom Nordrand des Tekesbeckens, an welchem er durch Brüche abgeschnitten und das verbindende Stück zwischen ihm und dem Granit

südlich des Beckens in die Tiefe gesunken ist, bis nahezu zum Südrand des Ilibeckens. Obwohl hier im oberen Kasantal transgressiv liegendes Unterkarbon ein Stück weit ansteht, kann doch kein Zweifel darüber bestehen, daß der Granit beiderseits der Karbonscholle der gleiche ist und unter ihr durchzieht. Eine Trennung in einen nördlichen und südlichen Zug läßt sich also hier nicht durchführen.

Ebensowenig geht dies bei dem inneren Granitmassiv. Es zieht vom oberen Bayumkoltal herüber mit ostnordöstlicher Richtung, setzt durch das Saikal- und Uirtentötal, sowie Dondukoltal und quert das große Musarttal in seinem Mittellauf in einer Breite von 13 km. Seine Fortsetzung nach O wurde im Kongrbulaktal und Agiasquertal angetroffen. Da das Gebiet zwischen den Quertälern des Agias und Koksu noch ganz unbekannt ist, kann über den Verlauf des Granitmassives in diesem Teile des Gebirges nichts gesagt werden. Wir treffen das Massiv wieder im Quertal des Koksu und sehen es von hier weiter nach ONO ziehen. Es bildet hier eine bedeutende Kette, die Kurdaikette, welche im Koksugebiet noch an zwei Orten, im oberen Kurdaital bis zum Kurdaipaß und im Ursprungsgebiet des Koksu, nördlich des Karagaitasch und Basisberges, das große Tertiärbecken im N begrenzend, von mir festgestellt wurde.

Ich unterscheide also in dem von mir bereisten Teil des Tian-Schan zwei große, in W-O Richtung gestreckte Granitmassive, welche in Bezug auf ihr Alter deutlich verschieden sind. Das nördliche, äußere Massiv ist älter als der unterkarbonische Kalk, welcher transgressiv über ihm liegt, das südliche, innere Massiv ist jünger als Unterkarbon, denn es hat den Kalk im Kontakt metamorphosiert. Beide Massive aber sind jünger als die Sedimentgesteine der Phyllitzone und die Metamorphose der Sedimentgesteine dieser Zone ist auf Rechnung der Granite zu setzen.

Wie weiter im W, so setzen auch im Chalyktau die Granite nicht die höchsten Teile des Gebirges zusammen, sondern sind auf die der Hauptkette nördlich vorgelagerten Gebirgsteile beschränkt. Das äußere Massiv tritt östlich des großen Musart aus dem Chalyktau heraus und seine Fortsetzung liegt jenseits des Tekes im Attuintau und Temurlyktau, das innere Massiv zieht parallel der Hauptkette, bleibt aber von ihr durch eine breite Phyllitzone getrennt. Wir sehen hier eines der auffallendsten Merkmale des Baues des mittleren Tian-Schan, daß nämlich trotz der großen Verbreitung des Granites die Hauptkette nicht von ihm, sondern von Sedimenten, und zwar unterkarbonischem Kalk, gebildet wird.

Äußeres Granitmassiv.

Im NW des Gebietes, im untersten großen Musarttal, steht von wenig oberhalb der Mündung des Dondukol in den Musart bis zum Gebirgsrand und weiter nach N in der Tekesebene noch in einigen isolierten Hügeln, im ganzen in einer Breite von 5 km, ein ziegelroter grobkörniger Biotitgranit (Granitit) an, der von grünlichweißen Apliten durchsetzt ist.

Dieser Granit verschwindet nach N unter den jungen Bildungen der Tekesebene, östlich des Musarttales bildet unterkarbonischer Kalk den Rand des Gebirges und südlich des Granites liegt eine Zone von grünen Schiefern und Phylliten, mit Quarziten und Gabbro. In dieser Zone, in geringer Entfernung vom Südrand des Massivs, steht ein völlig zertrümmerter und zermalmter Granit an, der nach seinem Aussehen große Ähnlichkeit

mit den Pfahlschiefern des Bayrischen Waldes hat. Er liegt in einem Gebiet starker Störungen, ist von zahlreichen Brüchen durchsetzt und tritt in Kontakt mit Gabbro. Dieser Granit ist eine Apophyse des Massivs und beweist somit, daß die Gesteine der Phyllitzone, in die er eingedrungen ist, älter sind als der Granit.

Im Temurlyktau ist der Granit das älteste sichtbare Gestein. Er liegt hier unter dem transgressiven Kalk des oberen Unterkarbons und ist im Chonochaital von diesem noch durch die Porphyritdecke getrennt. Es kann also auch hier das Alter des Granites nicht näher festgestellt werden.

Über das Auftreten von Granit im westlichsten Attuintau konnte ich mir nicht die nötige Klarheit verschaffen; es scheint mir wahrscheinlich, daß der nur im Geröll gefundene Granit im Attuintau überhaupt nicht ansteht, sondern in einer Zeit hohen Wasserstandes dorthin verfrachtet wurde.

Inneres Granitmassiv.

Das Gestein dieses Massives ist in der Hauptsache ein mittelkörniger kataklastischer Biotitgranit (Granitit). Er wurde in fünf verschiedenen Tälern, vom großen Musarttal im W bis zum obersten Koksugebiet im O, angetroffen. Im großen Musarttal liegt er in der Phyllitzone und hat Kontaktmetamorphose auf die angrenzenden Gesteine ausgeübt. Ich fand hier am Nordrand, noch in der Phyllitzone, Aplite sowie Gneiß, der in Granitporphyr übergeht, ferner chloritische Schiefer mit Kalk zusammengeschweißt, wobei der Kalk dolomitisiert ist und in Form von Linsen in dem Schiefer eingebettet ist. Noch deutlicher ist am Südrand die Kontaktwirkung des Granites zu sehen, denn hier schaltet sich zwischen den normalen, richtungslos körnigen Granit und den Phyllit eine Übergangszone von schiefrigem Granit (Gneiß) zu Glimmerschiefern und injizierten Schiefern ein.

Im Agiasquertal tritt der Granit an den Rand des Tekesbeckens und ist hier durch Brüche abgeschnitten. Im Süden geht er in Gneiß über, der immer schiefriger wird und zum Phyllit überleitet. Im Granit eingeschlossen liegt eine Scholle von unterkarbonischem Kalk, welcher metamorphosiert ist und wir sehen also hier, daß der Granit, wie im Musarttal, jünger ist als die Phyllite und auch jünger als das obere Unterkarbon.

Im Quertal des Koksu konnte die genaue Grenze zwischen dem Kalk im N und Granit im S nicht untersucht werden, da hier junge Ablagerungen die älteren Gesteine verhüllen. Am Südrand traf ich gleiche Verhältnisse wie im Agias und Musart, allmählichen Übergang von Granit zu Glimmerschiefer und Phyllit. Im Kurdaital ist die Nordgrenze wieder deutlich sichtbar. Eine steile Verwerfung trennt hier Kalk und Granit, auf ihr ist Quarzporphyr emporgedrungen. Aber auch nördlich davon, auf dem Karabulaksyrt, wurde an einer Stelle Granit angetroffen, rings von Kalk umgeben, und die weitgehende Marmorisierung des Kalkes auf dem ganzen Syrt spricht dafür, daß auch hier der Granit jünger ist als der Kalk. Am Südrand, am Kurdaipaß, bietet sich das schon bekannte Bild, hier prächtig aufgeschlossen. Man kann ganz genau, vom Paß nach S über den Kinsupaß ins Kinsutal, den Übergang von normalem Granit durch die verschiedenen Zwischenstufen zu Phyllit verfolgen. Ebenso ist es im obersten Koksugebiet (Basisberg), sodaß also ein Zweifel an dem niedrigeren Alter des Granites gegenüber der Schieferserie und dem unterkarbonischen Kalk ausgeschlossen ist.

2. Syenit.

Er wurde nur an zwei Stellen gefunden: im oberen Koksugebiet als Geröll aus der granitischen Kurdaikette und in der Furche des Musartpasses. Auch hier wurde er anstehend nicht gesehen. Da er auch im Gehängeschutt nur spärlich vertreten ist, kann er nur geringe Mächtigkeit haben. Es handelt sich hier wie in der Kurdaikette nur um lokale Faciesbildung im Granit bzw. um einen syenitischen Gang.

3. Diorit.

Grüne, fein- und grobkörnige, auch porphyrische Diorite und Quarzdiorite finden sich nicht selten. Abgesehen von den dioritischen Bildungen im Granit, welche als besondere Facies des Granites keine selbständige Stellung besitzen, tritt Diorit in Gängen und kleinen Stöcken in der Phyllitzone auf. Im oberen Koksutal und am Kurdaipaß steht Diorit im Kontakt mit Kalk an, der in der Phyllitzone bzw. in der Übergangszone zwischen Granit und Phyllit liegt. Der Diorit scheint hier auf den Kalk kontaktmetamorph eingewirkt zu haben. Im Temurlyktau endlich setzt ein Dioritgang, beiderseits begleitet von Quarzit, durch Sedimente der Angaraschichten. Ist somit dieser Diorit jünger als die durchbrochenen Angaraschichten, so läßt sich das Alter der übrigen Diorite nur ganz ungefähr feststellen. Der Diorit am Kurdaipaß dürfte, ebenso wie der im Agiasquertal, welcher unterkarbonischen Kalk durchbricht, ungefähr gleichaltrig mit dem inneren Granit sein, vom Diorit im oberen Koksutal läßt sich nur sagen, daß er älter ist als die diskordant über ihm und dem Kalk liegenden Hanhaisedimente.

4. Gabbro.

Im Musarttal und im Agiastal fand ich an einigen Stellen Gabbro. Er kommt als Einlagerung im Granit vor (mittleres Musarttal) und außerdem in wenig mächtigen Stöcken oder Lagern in der Phyllitzone.

Ergussgesteine.

Von Ergußgesteinen besitzen Porphyrit und Quarzporphyr große Bedeutung für den Bau des Gebietes. Wenn wir die Verbreitung dieser beiden Gesteine betrachten, so sehen wir, abgesehen von einem wenig ausgedehnten Vorkommen von Quarzporphyr im oberen Kasantal im Temurlyktau, daß beide nicht zusammen vorkommen, sondern scharf voneinander getrennt sind. Eine Linie von Narynkol in ONO Richtung über das unterste Agias und das Koksuquertal nördlich des großen Beckens bildet die Grenze. Nördlich davon, also hauptsächlich im Temurlyktau, ferner im Attuintau und in den Vorbergen des Chalyktau vom Agias nach O tritt, mit der schon erwähnten Ausnahme im Temurlyktau und einer weiteren im Koksuquertal wenige km nördlich der Grenzlinie, nur Porphyrit auf, während südlich der Linie, im Agiasquertal, Koksuquertal, im Kurdaital an der Biegung, ferner in der Nordabdachung der Hauptkette des Chalyktau vom Musartpaß bis zum Quellgebiet des Koksu in einer W-O Ausdehnung von 200 km ausschließlich Quarzporphyr auftritt und Porphyrit gänzlich fehlt. Es sind zwar noch große Lücken in unserer Kenntnis dieses Teiles des Tian-Schan, denn ich habe das zentrale Gebiet nur in vier Quertälern

kennen gelernt, aber der auf große Entfernungen gleichbleibende Bau des Tian-Schan überhaupt und speziell dieses Teiles berechtigt zu dem Schlusse, daß auch in den zwischen meinen Routen liegenden Gebieten ungefähr die gleichen Verhältnisse herrschen.

5. Porphyrit.

Im Temurlyktau auf der Route über den Aulietaschpaß trafen wir zwei verschiedene Porphyrite. Der ältere liegt auf der Südseite konkordant unter dem unterkarbonischen Kalk der Stufe des Productus giganteus. Obwohl die Möglichkeit, daß unter dem Porphyrit wieder unterkarbonischer Kalk liegt, nicht ausgeschlossen ist, glaube ich doch mangels eines Beweises für diese Ansicht (siehe Routenbeschreibung!) annehmen zu müssen, daß der Porphyrit älter ist als das obere Unterkarbon, welches transgressiv über ihm liegt.

Der jüngere Porphyrit ist auf die Nordseite des Temurlyktau beschränkt. Er durchbricht Angaraschichten (Breccienbildung, Frittung von Sandstein) und ist demnach in der späteren Angarazeit oder nach ihr emporgedrungen. Gleichaltrig mit ihm dürfte der Porphyrit am Nordrand des Temurlyktau sein, welcher bei der Route über den Satl-Kasanpaß erwähnt wurde.

Endlich tritt Porphyrit in großer Menge im Attuintau und in den Vorbergen des Chalyktau vom Agias nach O auf. Der Bau dieser beiden, durch den Tekes voneinander getrennten Gebiete ist durchaus der gleiche und die in später Zeit erfolgte Scheidung durch den Tekes ist nur eine äußerliche. Der unterkarbonische Kalk ist von Porphyrit an vielen Stellen durchbrochen, beide Gesteine sind später gefaltet worden. Porphyrit hat also postunterkarbonisches Alter, ist aber älter als der im nördlichen Temurlyktau. Denn dieser ist erst nach der Entstehung der Hauptkette des Temurlyktau nördlich von ihr emporgedrungen, während jener schon den Kalk durchbrochen hatte, als die Gebirgsbildung und Faltung erfolgte.

6. Quarzporphyr.

Der Quarzporphyr im Temurlyktau konnte nicht näher untersucht werden. Wahrscheinlich ist er effusive Facies des Granites, der dort fast die ganze Kette zusammensetzt, und somit älter als der unterkarbonische Kalk. In Bezug auf seine Lagerung hat dieser Quarzporphyr große Ähnlichkeit mit dem Porphyrit im Chonochaital, weil auch dort der unterkarbonische Kalk transgressiv darüber liegt. Wenn aber der Quarzporphyr gleichzeitig mit dem Granit emporgedrungen ist, dann ist er älter als der Porphyrit, da dieser erst nach dem Granit aufgestiegen ist.

Zweifellos jünger als Unterkarbon ist der Quarzporphyr südlich der Grenze gegen den Porphyrit. Zwar läßt sich dies nicht für alle Vorkommen nachweisen und wir können im Kauinduibulak- und seinem Paralleltal nur feststellen, daß Quarzporphyr in Kontakt mit Tonschiefer und Kalk tritt, im Tuff Trümmer des Schiefers einschließt und den Kalk marmorisiert hat. Der Porphyr ist also jünger als beide Gesteine, aber deren Alter konnte nicht ermittelt werden. Der Tonschiefer dürfte gleichaltrig sein mit den Gesteinen der Phyllitzone, in welcher er liegt, und für den Kalk besteht, nach Analogie mit anderen Kalkzügen in der Phyllitzone, Grund zu der Annahme, daß er ebenfalls ein solcher, präkarbonischer Kalk ist.

Dagegen tritt im Koksuquertal und im Kurdaital das jüngere Alter des Quarzporphyrs gegenüber dem Kalk deutlich hervor, im Koksutal durch Marmorisierung, Zertrümmerung und Breccienbildung des Kalkes, im Kurdaital durch die Abhängigkeit des Quarzporphyrs von den tektonischen Verhältnissen, welche ihm erst das Empordringen ermöglichten.

Die weiteren Vorkommen von Quarzporphyr liegen im Hauptkamm des Chalyktau. Wenn ich das bei den Routenbeschreibungen schon über diese Bildungen und ihr Vorkommen Gesagte zusammenfasse, ergibt sich folgendes: Im W am Musartpaß treten sie als einzelne, dem Kalk eingeschaltete Züge auf, welche teils nur 100 m, teils auch 2 km breit sind. Von hier nach O nehmen sie rasch an Ausdehnung zu und verdrängen den Kalk mehr und mehr nach S, so daß er im Koprsaital auf einen schmalen Zug am Kontakt mit dem Phyllit beschränkt ist und erst 10 km weiter südlich in den hohen Regionen des oberen Koprsaigletschergebietes wieder ansteht, während das ganze dazwischen liegende Gebiet von den porphyrischen Gesteinen aufgebaut wird, welche mindestens 400 m über den Gletscher aufragen. Im Khaptnsutal erreicht die Ausdehnung dieser Gesteine in N-S Richtung ihren Höhepunkt. 15 km breit erstrecken sie sich bis zum Hauptkamm, der hier aus zwei parallelen Ketten besteht, bilden die nördliche Kette und erst südlich davon kommt der Kalk zum Vorschein. Weiter nach Ost wird ihre Breite rasch geringer und im Saksanteke- und Mustamastal und im obersten Koksugebiet fand ich nur noch wenig bedeutende Massen von deutlich erkennbaren Quarzporphyren den Kalken eingeschaltet.

Die Hauptmasse dieser Gesteine besitzt helle Farbe, licht weißlich, hellgrau, -grün, hell- und schmutzigrot. Die Struktur ist häufig deutlich porphyrisch und von der gleichmäßig dicht erscheinenden Grundmasse heben sich die Einsprenglinge von weißem Feldspat und farblosem Quarz im Querbruch gut ab. Die Porphyrstruktur ist manchmal so gut ausgeprägt, daß das Gestein schon makroskopisch als Quarzporphyr erkannt wird und nach seiner mikroskopischen Zusammensetzung auch als solcher bestimmt werden muß. Die Grundmasse tritt hier gegenüber den Einsprenglingen zurück und diese bestehen aus rötlichem Feldspat und farblosem oder milchweißem Quarz. Dazu treten noch spärlich dunkle Mineralien. Diese Quarzporphyre sind am besten ausgebildet im O im Koksugebiet, weiter im W stehen sie hinter den schwächer porphyrischen Gesteinen sehr zurück. Hier erscheinen makroskopisch vollständig dichte Bildungen und neben beiden extremen Ausbildungen sind alle Zwischenstufen vorhanden. Dunkle Mineralien fehlen vollständig oder nahezu vollständig. Glimmer (Muskowit und Sericit) sind an manchen Stellen reichlich vertreten und verleihen den Schieferungsflächen seidigen Glanz.

Die mikroskopische Untersuchung dieser Gesteine vom Musartpaß (siehe später!) ergab für die meisten Quarzporphyr-Charakter. Daneben kommen auch einige vor, welche nach ihrem Habitus als Quarzkeratophyre angesprochen werden müssen und nicht besser als mit den Worten von Rosenbusch (Elemente der Gesteinslehre, 3. Aufl. 1910, p. 328) beschrieben werden können. Sie haben z. T. sehr große Ähnlichkeit mit den typischen Quarzkeratophyren aus der Lennegegend oder aus dem Harz. So sind also in diesem Komplex alle Übergänge von Quarzporphyren zu den Quarzkeratophyren vertreten. Ein Fund von grauer Hälleflinta am Koprsaigletscher z. B. dürfte eine solche Zwischenbildung zwischen Porphyr und Keratophyr darstellen.

Eine Trennung nach den einzelnen Unterarten ist nicht möglich, da sie meistens alle zusammen vorkommen und in keiner bestimmten Ordnung aufeinander folgen. Der ganze

Komplex muß nach seiner Beschaffenheit und nach seinem Auftreten als eine zusammengehörige Masse betrachtet werden. Er dürfte die saure Randfacies eines Granitmassives sein, welches in geringer Tiefe unter der Oberfläche steckt. Dann erklärt sich auch die starke Umwandlung, welche der Kalk erlitten hat noch in Entfernungen von 10 km vom Kontakt mit den effusiven Bildungen. Im Koprsaigebiet z. B. ist der Kalk des Hauptkammes fast durchweg kontaktmetamorph beeinflußt, zu Marmor umgewandelt und mit Kontaktmineralien imprägniert. Eine derartig weitreichende Einwirkung von effusiven Bildungen ist sehr unwahrscheinlich. Wenn wir dagegen annehmen, daß Granit in nicht zu großer Tiefe steckt, — und wir haben ja am Musartpaß und im Turaschutal Anzeichen dafür gefunden! — bekommen wir eine Erklärung für die kontaktmetamorphe Umwandlung des Kalkes.

Erwähnt sei noch, daß die porphyrischen Gesteine, wo immer sie auftreten, eine meist sehr gut ausgeprägte Schieferung in bald dickere, bald sehr dünne Bänke zeigen. Die Schieferungsflächen stehen meist sehr steil oder senkrecht, im oberen Khaptnsu auch schwach geneigt, immer aber streichen sie parallel mit der Richtung der Ketten, also O-W bis NO—SW. Diese ausgeprägte Druckschieferung ist auf Rechnung von gebirgsbildenden Vorgängen zu setzen, welche mit starkem tangentialem Druck verbunden waren. Auch die Bildung von Sericitschiefern ist ihm zuzuschreiben.

7. Melaphyr.

Westlich vom Ausfluß des großen Musart in die Tekesebene bildet Melaphyrmandelstein vom Typus des Navits die niedrigen Hügel am Gebirgsrand. Über seine Lagerung ist nichts weiter bekannt, er grenzt nach S an den alten Granit des äußeren Massivs und an unterkarbonischen Kalk. Wahrscheinlich ist der Melaphyr jünger als der Kalk und auf einem der Randbrüche des Tekesbeckens emporgedrungen.

8. Basalt.

An drei Stellen wurde Basalt gefunden. Im untersten Koksutal und im Chonochaital durchbricht er unterkarbonischen Kalk, am Nordfuß des Temurlyktau im Dschagistaital Sandsteine der Angaraschichten. Ist somit das Alter dieser drei Basalte sicher postunterkarbonisch, so kann doch nicht entschieden werden, ob es bei den drei Vorkommnissen gleich ist.

Die Phyllitzone und ihre Gesteine.

Zwischen dem äußeren Granitmassiv im untersten großen Musarttal und dem inneren Massiv im mittleren Talabschnitt liegt eine Zone von Phylliten. Der innere Granit hat auf diese Zone kontaktmetamorphe Wirkung ausgeübt. Gehen wir weiter talauf, so treffen wir südlich dieses Granites wieder eine breite Phyllitzone mit den gleichen Gesteinen und auch hier unzweifelhaft metamorphosierende Einwirkung des Granites auf die Schiefer.

Daraus ergibt sich also, daß die beiden Phyllitzonen im großen Musarttal zusammengehören und nur durch die Intrusion des Granites getrennt wurden. Suchen wir nun die Fortsetzung der beiden Teile der Phyllitzone nach O auf. Ein Blick auf die Karte zeigt,

daß die nördliche Abteilung schief zur Begrenzung des Tekesbeckens gegen dieses hin streicht, infolgedessen den Rand des Beckens schon wenig östlich des großen Musarttales erreichen muß und dort durch die Randbrüche des Tekesbeckens abgeschnitten wird.

Die südliche Abteilung dagegen setzt sich noch in dem ganzen von mir untersuchten Gebiete, also bis zur Wasserscheide Koksu-Yuldus, 200 km östlich des Musart, fort. Wir haben sie bei Besprechung der einzelnen Routen schon kennen gelernt, ich kann daher hier auf eine detaillierte Beschreibung verzichten. Es sei nur rekapituliert, daß die großen Längstäler des Agias und Koksu durchaus in der Phyllitzone liegen, daß die Breite der Zone vom Musart nach O rasch zunimmt und daß überall, wo der Kontakt mit dem Granit beobachtet wurde, nicht die normalen Kontaktzonen auftreten, sondern daß ein allmählicher Übergang aus dem richtungslosen Granit durch Gneiß und Glimmerschiefer zu Phyllit stattfindet.

Wie schon die gewählte Bezeichnung dartut, sind die Gesteine dieser Zone überwiegend Phyllite. Es sind meist grüne, seltener graue Gesteine, häufig mit Fältelung, manchmal mit Quarzlagen zwischen den Schichten (Quarzphyllite). Ihnen eingelagert finden sich in größeren oder kleineren Massen verschiedene Gesteine, welche man gewöhnlich als kristallinische Schiefer bezeichnet.

Abgesehen von den Glimmerschiefern, welche nur als Übergänge zwischen Granit und Phyllit auftreten und die ich daher nicht noch eigens bespreche, kommen vor:

Quarzite und Quarzitschiefer in geringer Mächtigkeit;

Chloritschiefer im Kontakt mit Kalkstein;

Kalkstein in mehr oder minder mächtigen Zügen, z. T. in Kalkglimmerschiefer umgewandelt, meist aber in weißen Marmor, wobei auf den Schichtflächen zahlreiche Glimmerblättchen liegen (Näheres bei den einzelnen Routen!);

Serpentin im oberen Musartgebiet, im Kongrbulak- und oberen Koprsaital, jedoch nirgends im Anstehenden gefunden;

Amphibolgesteine, von diesen häufig Amphibolite, welche in Verbindung mit Kalken auftreten (oberstes und unterstes Agias, Kurdaipaß), ferner als Einlagerung in Glimmerschiefer und Phyllit (nördliches Kauinduibulak, Berg südlich Biegung des Agias, unteres Koprsai) und endlich verknüpft mit Glaukophangesteinen (mittleres Koprsai und mittleres Khaptnsu). Gleichfalls an diese gebunden sind Eklogite (oberes Agias, mittleres Koprsai, Kongrbulak). Im mittleren Khaptnsu fand ich einen Granatcordierithornfels, bei den Glaukophangesteinen, den einzigen Hornfels in dem ganzen von mir bereisten Gebiete.

Grünsteine sind ziemlich häufig, besonders im Musarttal, weniger in den anderen Tälern. Sie sind teils dioritisch, teils umgewandelte Diabase.

Außer diesen mehr oder weniger umgewandelten Gesteinen fanden sich in der Phyllitzone an einigen Stellen auch Tonschiefer. Im oberen Koksugebiet ist es ein graues phyllitähnliches Gestein, in den Kauinduibulaktälern im Agiasgebiet rotbrauner Tonschiefer und im Kongrbulaktal schwarzer Tonschiefer, von dem sich auch Putzen im grauen Kalk finden.

Unterkarbonischer Kalk.

Durch Keidel wissen wir, daß die gesamten mächtigen Kalkmassen des nördlichen zentralen Tian-Schan sowohl in den inneren Ketten als auch in den äußeren Gebirgsteilen Ablagerungen des Meeres der Unterkarbonzeit sind, welches transgredierend über altes Land vordrang. Begeben wir uns nun an die Ostgrenze des Keidelschen Gebietes, so sehen wir am Musartpaß die zentrale Kalkzone ohne Unterbrechung vom Pik Nicolai Michailowitsch nach O weiterziehen. Sie setzt über den Paß weg und bildet im ganzen Chalyktau die Wasserscheide zwischen Nord und Süd. Dieser inneren Kalkzone steht eine äußere gegenüber, welche gewissermaßen die Fortsetzung der äußeren Kalkmassen im Gebiete Keidels darstellt, nach Nord weit über den Chalyktau hinaus sich erstreckt und große Ausdehnung im Temurlyktau erlangt.

In der inneren Zone liegen die größten Höhen des ganzen Tian-Schan und seine höchsten Berge werden von dem Kalk gebildet. Diese liegen noch westlich des von mir bereisten Gebietes. Nach O im Chalyktau vermindert sich die Höhe etwas, bleibt aber noch bis zum Koprsaigebiet auf etwa 6000 m und nimmt erst weiter nach O rascher ab, sodaß im obersten Koksugebiet die Höhe der Berge des wasserscheidenden Kammes nur noch ungefähr 5000 m beträgt.

Der Feststellung des Alters dieser inneren Kalkzone stellen sich große Schwierigkeiten entgegen, welche nicht nur in der durch ihre Lage und ihre starke Vergletscherung verursachten mühsamen Bereisung liegen. Der Hauptgrund ist vielmehr die weitgehende Metamorphose des Kalkes. Das Nähere darüber wurde schon bei Besprechung der einzelnen Routen erwähnt, deshalb kann hier eine detaillierte Aufzählung unterbleiben. Es sei nur angeführt, daß der Kalk großenteils in körnigen Marmor umgewandelt ist, der in allen Farbenabstufungen von weiß durch gelbliche Töne zu grau und dunkelgrau vorkommt. Die weißen lichten Töne herrschen vor; öfters sieht man Wechsellagerung von weißem und grauem Marmor, was darauf schließen läßt, daß das ursprüngliche Gestein aus abwechselnden Lagen von verschiedener Zusammensetzung bestand. Manchmal ist auch Wechsellagerung von weißem oder grauem Marmor mit schwarzen und schwarzbraunen, z. T. dolomitischen Kalkschiefern zu beobachten. Auch Wechsel von hellen kalkigen und dunklen dolomitischen Schichten kommt vor. Dazu treten noch mehr oder weniger zahlreich verschiedene Mineralien als Neubildungen, besonders Glimmer sind in großer Masse vorhanden, stellenweise auch Turmaline, und Quarzgänge durchziehen das Gestein. Diese Umstände zusammengenommen, ergibt sich, daß das Finden von Versteinerungen in diesen stark veränderten Sedimenten sehr unwahrscheinlich ist.

Tatsächlich gelang es mir auch weder am Musartpaß noch im Koprsaigebiet, irgend welche sicheren Reste von Organismen in der Kalkzone zu finden. Ein wenig günstiger gestalten sich die Verhältnisse weiter nach Ost und ich konnte hier im Khaptnsutal und im Saksanteketal eine Anzahl von Fossilresten sammeln. Allerdings sind diese meist so schlecht erhalten, daß eine spezifische Bestimmung unmöglich ist, oder sie sind zu stratigraphischen Zwecken unbrauchbar. Ich fand diese Fossilien in weniger stark beeinflußten Teilen der Kalkzone. Das Gestein ist hier ein hell- bis dunkelgrauer, auch schwarzer Kalkstein, stellenweise bituminös, manchmal schiefrig, auch kohlige Partien kommen vor. Der Kalk ist manchmal dicht, meist aber mehr oder weniger kristallinisch und von Quarzgängen

und -linsen durchsetzt, welche beweisen, daß auch hier noch eine metamorphosierende Einwirkung stattgefunden hat.

Über seine Lagerung ist nur zu bemerken, daß er diskordant über den Gesteinen der Phyllitzone liegt. Transgressionskonglomerat an der Basis des Kalkes konnte ich nirgends wahrnehmen und auch dort, wo der direkte Kontakt Kalk-Phyllit nicht aufgeschlossen ist, ist die Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein einer solchen Bildung sehr gering.

In der äußeren Kalkzone liegen die Verhältnisse zur Feststellung des Alters des Kalkes günstiger. Dort ist der Kalk nur an einigen Stellen metamorphosiert, im allgemeinen aber hat er seine ursprüngliche Beschaffenheit erhalten und damit auch seine Versteinerungen. Es gelang daher an verschiedenen Orten, bestimmbare Versteinerungen im Kalke zu sammeln und sein Alter festzustellen. Es zeigte sich, daß er gleichaltrig ist mit dem im westlich anstoßenden Gebiete und somit oberes Unterkarbon und zwar die Stufe des Productus giganteus repräsentiert. Es ist ein grauer Kalk z. T. mit roten Putzen und Linsen, lokal im Attuintau auch brauner mit verkieselten Fossilien und Hornsteinkonkretionen. Am besten aufgeschlossen ist dieser Kalk im Chonochaital im Temurlyktau, wo er nahezu horizontal liegt und reichlich Fossilien enthält (siehe Gröber, Carbon etc.). Er liegt dort über dem Porphyrit, beginnt mit einer Oolithbank und über ihr liegen etwa 450 m dunkelgrauer Kalk, darüber konkordant 100 m klotziger hellgrauer Kalk, welcher die Kammhöhe bildet. Die Mächtigkeit des oberen Unterkarbons beträgt also hier mindestens 550 m und muß, da Hangendes fehlt, in Wirklichkeit noch größer sein. Bei der gewaltigen Verbreitung, welche der Kalk hier im Temurlyktau und besonders im Chalyktau hat, kann große Mächtigkeit des Kalkes nicht wundernehmen. Allerdings mögen tektonische Ursachen zu einem großen Teil eine Mächtigkeit des Kalkes vortäuschen, welche die wirkliche Mächtigkeit bedeutend übertrifft, aber wir sehen doch in den Gebieten mit wenig gestörter Lagerung, wie z. B. im oberen Saksanteketal oder Mustamastal, wo die Schichten im allgemeinen flach bzw. horizontal liegen, daß vom Talboden bis hinauf zur Kammhöhe nichts anderes ansteht als Kalk und er demnach Mächtigkeiten von 600 und mehr Metern erreicht.

Diese Tatsachen legen die Frage nahe, ob denn wirklich die ganzen Kalkmassen des Chalyktau einzig dem oberen Unterkarbon angehören oder ob nicht doch ein Teil des Kalkes einem tieferen oder höheren Horizont entspricht. Eine Entscheidung darüber zu geben, ist mir nicht möglich, denn meine Beobachtungen und Funde genügen nicht zur Lösung dieser Frage. Wenn ich trotzdem den Kalk als eine einheitliche, zusammengehörige Masse betrachte und ihn, solange nicht widersprechende Tatsachen bekannt sind, als oberes Unterkarbon auffasse, so geschieht dies, weil manches dafür spricht und mit der Einreihung des Kalkes ins Unterkarbon sich manche Erscheinungen im Bau des Chalyktau erklären lassen, die sonst unverständlich bleiben würden. Genaueres darüber im tektonischen Teil!

Angaraschichten.

Die nächstjüngeren Schichten auf der Nordseite des Chalyktau haben tertiäres Alter. Während des jüngsten Paläozoikums und des ganzen Mesozoikums blieb dieser Teil des Tian-Schan frei von Meeresbedeckung und erst im Tertiär wurden in einzelnen abgeschlossenen Becken Sedimente abgelagert. Dagegen finden wir auf der Nordseite des

Temurlyktau und im Talkytal des dsungarischen Alatau, also an den Seiten des heutigen Ilibeckens und in diesem selbst nordwestlich Kuldscha Ablagerungen, welche jünger als der karbonische Kalk und älter als Tertiär sind. Sie gehören zu den Angaraschichten, welche in anderen Teilen des Tian-Schan, besonders im Osten (nach den Mitteilungen Gröbers) weit verbreitet sind und große Mächtigkeit erlangen.

Die Sedimente dieser Gruppe sind recht verschiedenartig. Während im Talkytal Ton- und Kieselschiefer anstehen, welche deutlich transgressiv über dem Kalk zum Absatz gelangten, treffen wir im Dschagistaital auf der Nordseite des Temurlyktau vorwiegend Sandsteine, dagegen sind hier die Schiefer auf wenig mächtige Tonmergel und Tonschiefer beschränkt und außerdem sah ich an einer Stelle eine 40 m mächtige Kalkbank. Im Ilibecken selbst stehen über roten Sandsteinen und Konglomeraten, welche das Liegende bilden. Schiefertone und kalkige Sandsteine an mit Braunkohlenflözen. Ob die Bestimmung dieser Schichten als Rhät und Lias (nach Muschketow) zutrifft, konnte ich nicht entscheiden; Funde von Versteinerungen im Talkytal und Dschagistaital habe ich nicht gemacht und somit bleibt für die Feststellung des Alters dieser Sedimente nur die Tatsache verwertbar, daß sie jünger sind als der unterkarbonische Kalk und transgressiv über ihm (Talkytal), bzw. diskordant zu ihm (Aulietasch) abgelagert wurden, daß sie ferner älter sind als die im dsungarischen Alatau mächtig entwickelten Hanhaischichten, denn Rollstücke der Tonschiefer und Sandsteine kommen in den Konglomeraten des Urta-Aksutales vor. Für die Gleichstellung der Schichten vom Talkytal mit denen vom Dschagistaital spricht vor allem ihre Lagerung, an den Rändern eines Beckens, und dann auch der Umstand, daß in beiden Komplexen Porphyritergüsse stattgefunden haben, welche noch in die Angarazeit verlegt werden müssen. Denn in den schon erwähnten tertiären Konglomeraten des Urta-Aksutales kommen unter den Rollstücken auch solche von Porphyrit vor.

Hanhaischichten.

In unserem Gebiete stehen diese Schichten an verschiedenen Stellen an. Große Ausdehnung und Mächtigkeit haben sie am Südfuß des dsungarischen Alatau, wo sie mindestens 60 km weit eine 15 km breite Zone bilden. Wir trafen sie ferner im oberen Koksugebiet. Hier bestand im Tertiär ein großes, abgeschlossenes Becken, welches über das Gebiet des oberen Koksu nach O hinaus noch in das Yuldustal sich erstreckte. Endlich dürften die Ablagerungen, welche im Südosten des Tekesbeckens in großer Mächtigkeit aufgeschlossen sind, gleichfalls den Hanhaischichten zuzurechnen sein.

Wir haben also in drei getrennten Gebieten diese Sedimente. Es sind durchaus Absätze von Seen, welche ohne Abfluß gedacht werden müssen. Demgemäß stammt das Material der Ablagerungen nur aus der Umgebung der Seen und hat meist keine sehr starke Abnützung während des häufig nur kurzen Transportes erlitten. Daher bestehen die Hanhaischichten ausschließlich aus klastischen Sedimenten und zumeist aus gröberen oder feineren Konglomeraten mit Sanden und geschichtetem Löß. Die Lagerung ist in den meisten Fällen noch die ursprüngliche, also horizontal oder mit geringer Neigung von den Rändern nach der Mitte des Beckens einfallend. Doch zeigen sich an manchen Stellen Spuren von gebirgsbildenden Bewegungen in diesen Sedimenten. Eine dieser Stellen liegt in dem niedrigen Rücken, welcher dem Temuryktau parallel zieht und östlich des Pikets

Sumbe sein Westende hat. Der Kasan-Urtensai, der aus dem Temurlyktau kommt, durchbricht diesen Höhenzug in breitem Tal. An dessen Ostrand fließt das Wasser und hat hier eine Steilwand geschaffen, welche folgendes zeigt:

Geschichtete Schotter, teilweise feinere sandige Schichten zwischen den gröberen, streichen N 85 O und fallen mit 20° N. Nach S legen sie sich allmählich flacher und zuletzt horizontal. Die geneigten Schichten sind abradiert und auf ihnen liegen diskordant horizontale Schotterlagen, 3—4 m mächtig, darüber dann ungeschichteter Löß 15 m dick, weiter südlich nur noch 5 m dick. Am Eingang in dieses Erosionstal liegt eine Terrasse am linken Ufer des Kasan, welche sich früher weiter nach S fortsetzte, wie an der Steilwand zu erkennen ist. Heute ist dieses südliche Stück von geschichtetem Löß bedeckt. Wir haben also hier ältere Seeablagerungen, welche aufgerichtet, abradiert und von jüngeren Seeablagerungen überdeckt wurden. Das Ganze ist überzogen mit einer Decke von äolischem Löß.

Die zweite der Stellen, wo ich solch junge Bodenbewegungen feststellte, liegt nordöstlich Narynkol, nahe der russisch-chinesischen Grenze. Der Bayumkolfluß durchbricht hier einen kleinen Höhenzug in der Tekesebene. Man sieht östlich des Flusses einen Aufschluß von geschichteter Nagelfluh, die mit 20° S fällt. Auch am Ostende des Rückens zeigt die Nagelfluh dieses Einfallen.

Die Neigung der Schotterlagen in diesen beiden Aufschlüssen kann nicht als eine ursprüngliche angesehen werden, denn in beiden Fällen neigen sich die Schichten nicht nach der Mitte des Beckens, sondern nach den Rändern.

Bei dem vollständigen Fehlen von organischen Resten in all diesen Schichten ist es unmöglich, ihr Alter festzustellen. Es ist demnach gar nicht ausgeschlossen, daß die erwähnten Schotter verschiedenes Alter haben, daß die horizontalen Ablagerungen der Tekesseeterrasse im östlichen Teile des Tekesbeckens jünger sind als die Hanhaischichten im Ilibecken und im oberen Koksugebiet und daß sie altersungleich sind mit den aufgerichteten und z. T. abradierten und von neuen Sedimenten bedeckten Schottern des westlichen Tekesbeckens.

Diluviale und alluviale Bildungen.

Daß im Tian-Schan früher eine viel stärkere Vergletscherung vorhanden war als heute, ist bekannt und geht auch aus den verschiedenen diesbezüglichen Bemerkungen hervor, welche ich bei den Routenbeschreibungen gemacht habe. Ich beabsichtige nicht, näher auf dieses Thema einzugehen, da Herr Prof. Merzbacher während der Expedition sein Augenmerk darauf gerichtet hatte. Ich enthalte mich auch eines Urteils über die Zahl der Eiszeiten im Tian-Schan. Ist es schon in den Alpen trotz genauester Untersuchungen noch nicht gelungen, eine Einigung darüber zu erzielen, so ist im Tian-Schan bei den wenigen zu Gebote stehenden Beobachtungen noch weniger daran zu denken, sichere Schlüsse ziehen zu können. Wer sich näher für dieses Kapitel interessiert, der lese die betreffenden Ausführungen in den Werken der verschiedenen Geographen, welche in den letzten 15 Jahren den Tian-Schan bereist haben.

Die Beweise für die Existenz mehrerer Eiszeiten bzw. für mehrmalige Vorstöße und Rückzüge der Gletscher sind in den Tälern in Menge zu finden. Gewaltige Moränen und

noch mächtigere fluvioglaciale Schotter füllen großenteils den Boden der Täler aus und oft sind die Flüsse tief in diese jungen Ablagerungen eingeschnitten.

Als letztes Glied der Formationen endlich seien noch kurz die postglacialen Bildungen erwähnt. Hierher gehören die heutigen Gletscher mit ihren Moränen, die Alluvionen der Flüsse und die Massen von Gehängeschutt, welche besonders im Längstal des Agias in zusammenhängender Decke das anstehende Gestein verhüllen. Auch in den engen Tälern der zentralen Zone sind große Schuttkegel, welche vom Talboden weit hinauf an den steilen Wänden reichen.

Mikroskopische Untersuchungen an Gesteinen des grossen Musarttales.

Bei dem Vorherrschen kristallinischer und metamorphosierter Gesteine in dem bereisten Gebiet ergab sich die Notwendigkeit, die Gesteine wenigstens eines Quertales einer mikroskopischen Bearbeitung zu unterziehen. Denn manche für die Frage nach der Art und dem Zeitpunkt des Entstehens von Gesteinen wichtige Tatsache ist nur durch eingehende petrographische Untersuchung zu erkennen. Ich wählte zu diesem Zweck die Gesteine des nördlichen großen Musarttales und untersuchte von den 120 vom Musartpaß bis zum Rande des Gebirges gegen die Tekesebene gesammelten Handstücken 59 im Dünnschliff. Die Wahl der Gesteine gerade dieses Tales für die mikroskopische Untersuchung wurde erstens dadurch veranlaßt, daß dieses Tal sämtliche fünf von mir unterschiedenen Zonen des Chalyktau durchzieht und zweitens dadurch, daß die Gesteine des vom Musartpaß nach S ziehenden südlichen Musarttales bereits durch Kleinschmidt und Limbrock[1]) eine mikroskopische Bearbeitung erfahren haben, so daß also die beiden Arbeiten zusammen einen vollständigen Durchschnitt durch den Hauptzug des Tian-Schan, wenig östlich seiner höchsten Erhebungen, geben.

Ich unterscheide im großen Musarttal fünf Zonen, welche von N nach S aufeinander folgen:

a) äußere Granitzone mit Melaphyr am Gebirgsrand,
b) äußere Phyllitzone, getrennt durch
c) innere Granitzone von
d) innere Phyllitzone; auf diese folgt
e) zentrale Kalkzone mit Quarzporphyr.

Es sollen zunächst die einzelnen untersuchten Gesteine, nach Zonen geordnet, besprochen und dann die sich daraus ergebenden Schlüsse gezogen werden.

Von a) wurden nur drei Stücke untersucht:

Melaphyrmandelstein: In einer rotbraunen Grundmasse liegen leistenförmige Einsprenglinge von Feldspat und grüne Putzen, sowie Mandeln mit rötlichgelber und grüner Füllung. Die mikroskopische Untersuchung zeigt, daß die Grundmasse aus intersertalen Leisten von sericitisiertem Labrador besteht und daß die Räume zwischen den einzelnen Leisten von Kalkspat und anderen nicht näher bestimmbaren Mineralien, sowie von opakem Erz und Leukoxen ausgefüllt sind.

[1]) Kleinschmidt und Limbrock, Die Gesteine des Profils durch das südliche Musarttal im zentralen Tian-Schan. Abh. d. Ak. d. Wiss. München, math.-phys. Kl., Bd. 23, 213—232, 1906.

In dieser Grundmasse liegen als Einsprenglinge die schon makroskopisch sichtbaren größeren Individuen von schwach sericitisiertem Oligoklas-Andesin und die grünen Putzen, die sich als serpentinisierter Olivin mit starker Rostabscheidung an den Rändern und auf Sprüngen bestimmen lassen. Die Ausfüllung der Mandeln besteht aus Kalkspat und wirrfasrigem Chlorit.

Somit haben wir hier einen porphyrischen Melaphyr vor uns, dessen Einsprenglinge aus Olivin und Plagioklas bestehen, das Gestein hat also den Typus des Navits.

Biotitgranit (Granitit): Ein grobkörniges Gestein mit ziegelrotem Orthoklas, lichtgrüngelbem Plagioklas, farblosem Quarz und Partien eines dunkelgrünen Minerals.

U. d. M. erkennt man Orthoklas in perthitischer Verwachsung mit Plagioklas, daneben in bedeutender Menge Oligoklas. Die Feldspäte sind sericitisiert und zwar der Oligoklas stärker als der Orthoklas, daher ihre makroskopisch trübe Beschaffenheit. Der Quarz ist kataklastisch. Das dunkle Mineral ist chloritisierter Biotit, bei dessen Umwandlung Titansäuremineralien, besonders Leukoxen, ausgeschieden wurden, z. T. ist der Biotit ausgebleicht. Von Nebengemengteilen treten auf: Apatit in Nadeln und Körnern und opakes Erz; als sekundäre Bildung findet sich Kalkspat in Orthoklasen, ferner Rost in großer Menge. Das Gestein besitzt ausgezeichnete granitische Struktur.

Zertrümmerter Granit: Violettes und grünes Gestein mit Seidenglanz. Es besteht hauptsächlich aus sericitisiertem Oligoklas-Andesin und stark kataklastischem Quarz. Als sekundäre Bildungen finden sich viel Eisenglanz, Leukoxen und Epidotkörner. Das Gestein ist vollständig zertrümmert, die Feldspäte sind zerbrochen und jede Andeutung der früheren Struktur ist verloren gegangen. Es bildet somit ein Analogon zu den Pfahlschiefern im Bayrischen Wald und stellt einen Granit dar, der durch intensive mechanische Beeinflussung im innersten Gefüge zerrüttet und dadurch in seinem Mineralbestand umgeändert ist.

b) und d). Diese beiden Zonen werden passend zusammen besprochen, da sie (siehe Routenbeschreibung!) ein Ganzes bilden und nur durch die Intrusion des inneren Granites getrennt sind.

Grauvioletter Quarzphyllit, stark gefaltet, aus dicken Quarz- und dünnen Glimmerlagen bestehend. U. d. M. sehr viel stark kataklastischer Quarz, stark sericitisierter Feldspat, aber fast nur Stücke ohne Zwillingslamellen, stärker lichtbrechend als Quarz, daher wohl Albit; Biotit in schmalen, gewundenen Lagen, viel Apatit, Titaneisen mit Leukoxen und opakes Erz. Das Gestein ist stark zersetzt.

Grüner Quarzphyllit, aus sehr dünnen, abwechselnden Lagen von Quarz und grünem Mineral. U. d. M. sieht man, daß die grünen Lagen dünner sind als die Quarzlagen und manchmal ganz fehlen, das grüne Mineral ist dann auf einzelne isolierte Individuen in den Quarzlagen beschränkt. Der Quarz ist kataklastisch und ausgezeichnet lagenförmig angeordnet, von Feldspäten findet sich sehr wenig Orthoklas in Karlsbader Zwillingen und frischer Oligoklas-Andesin ($\perp \alpha$ 75°). Das grüne Mineral ist, teilweise chloritisierte, Hornblende in schmalen Leisten. Titanit und Schwefelkies mit Rostrand.

Injizierter Schiefer: ein Gestein mit weißer körniger Grundmasse, in der grüne Mineralien mit eingeschlossenem Almandin zu Putzen gehäuft liegen, mit schwacher Parallelstruktur.

U. d. M. sieht man, daß die Grundmasse aus großen kataklastischen Quarzen und teils sericitisiertem, teils frischem Oligoklas-Andesin besteht, die grünen Mineralien sind

grüne und strahlsteinartige Hornblende, Biotit mit Linsen und Lagen von Epidot zwischen den Spaltflächen und viel zonarer Klinozoisit in großen Individuen, mit Zoisit β verwachsen. Biotit und Hornblende sind meist chloritisiert. Außerdem kommen vor: Apatit, Titanit, Leukoxen, Schwefelkies, opakes Erz und etwas Kalkspat im Plagioklas.

Wir haben also hier ein deutlich injiziertes Schiefergestein vor uns. Zusammen mit ihm wurde ein grüner Quarzdiorit gefunden als Beweis, daß saure Intrusionen in die Schiefer eingedrungen sind. Das grobkörnige Gestein hat granitische Struktur mit schwacher Parallelordnung und besteht aus stark sericitisiertem Andesin, schwach kataklastischem Quarz und großen grünen Hornblenden (schönes Zwillingskreuz!) mit Apatit und Zirkon. Dazu treten noch Biotit, der z. T. chloritisiert ist unter Bildung von Epidot, Leukoxen und Titaneisen, sowie Schwefelkies.

Von Gesteinen der Phyllitzone untersuchte ich noch zwei Gabbro, von denen der eine ein schwarzgrüner, feinkörniger Hornblendegabbro ist mit grüner Hornblende, Epidot und Klinozoisit und teils frischem, teils saussuritisiertem Labrador ($\perp \mathfrak{a} = 58^0$), der andere ist mittelkörniger grüner Uralitgabbro, dessen Feldspat stark saussuritisierter Labrador-Bytownit und dessen grünes Mineral Uralit ist. In beiden Gesteinen findet sich kataklastischer Quarz in geringer Menge.

Als Geröll im Altun-bulak fand ich einen Eklogit aus abwechselnden Lagen von grünen und roten Mineralien bestehend und zwar aus Diopsid, Granat, Epidot und Klinozoisit, wozu noch Feldspat, Kalkspat, Rutil und Leukoxen treten.

Der Serpentin vom Turaschutal zeigt unter dem Mineral ein wirrschuppiges Aggregat von Serpentin und derbe Massen von Chromeisen, der vom Quertal des Musart ein Gitterwerk von Antigorit, dazu Reste von Olivin und neben Schwefelkies massenhaft Magneteisen.

Die den Schiefern eingelagerten Kalkzüge haben zur Entstehung von Mischgesteinen Veranlassung gegeben. Von diesen wurde untersucht: ein hartes grünes, braun anwitterndes Gestein, das sich als ein Gemenge von körnigem Kalk und Grünschiefer erwies, welche zusammengeschweißt sind. Es besteht aus Chlorit und ausgebleichtem Biotit, sowie aus viel Kalkspat. Dazu treten noch Epidot- und Quarzkörner, Leukoxen (Insekteneier), Schwefelkies und opakes Erz.

Das schwarze, sehr harte und schwere Gestein des Gipfels nördlich des Musartlängstales besteht aus dolomitisiertem Kalkspat und Quarz, ferner liegen in der Masse unregelmäßige Körner von Olivin, mit kataklastischer Struktur und mit massenhaften Chromeisenkörnern, z. T. auch mit Kalkspat und Quarz durchsetzt. Graphit in staubfeiner Verteilung. Dieser Kieselkalk, der viel Schwefelkies enthält, dürfte durch aplitische Injektion eines Kalkzuges entstanden sein.

c) Ich gehe über zu den aus der inneren Granitzone untersuchten Gesteinen. In erster Linie sind hier die Granite zu erwähnen. Es sind verschiedene Modifikationen von fleischrotem bis zu ganz schwach rötlichem Biotitgranit (Granitit). Neben Orthoklas ist stets ein saurer Plagioklas vorhanden, beide Feldspäte sind sericitisiert und der Orthoklas ist perthitisch mit Plagioklas verwachsen. Quarz ist kataklastisch. Das dunkle Mineral ist Biotit, der häufig gebleicht oder chloritisiert ist. Hornblende fehlt entweder ganz oder ist nur untergeordnet vorhanden, an einigen Stellen nimmt sie aber an Masse zu und gegen das südliche Ende des Massivs kommt es zur Ausbildung eines echten Hornblende-

granitites, in welchem der Biotit auf ein Minimum reduziert ist. Muskowit fand sich nur in geringer Menge in einem Schliff. Nebengemengteile sind: Titanit (Grothit), Rutil, Zirkon, Apatit, Orthit, z. T. auch Epidot, lokal Kalkspat als Neubildung.

Die Struktur ist teils richtungslos körnig, teils nähert sie sich der Parallelstruktur oder ist porphyrisch, so daß das Gestein als Granitporphyr oder Augengneiß, bzw. als Gneiß erscheint.

Nahe der Grenze des Massivs gegen die Schiefer fanden sich modifizierte Granite. Die Untersuchung ergab, daß es durch Resorption und Injektion veränderte, dioritische Granite sind. Orthoklas ist nur in dem einen der drei untersuchten Stücke vorhanden, der Plagioklas ist stets teilweise oder sehr stark sericitisierter Andesin. Quarz ist schwach kataklastisch, vermiculé. Die dunklen Mineralien sind grüne, auch braungrüne Hornblende und z. T. chloritisierter Biotit. Epidot, Apatit, Orthit, Zirkon, Titanit und Leukoxen, Schwefelkies, z. T. umgewandelt, sind jedesmal vertreten.

Aplite: ein grobkörniger Aplit durchsetzt violetten Gneiß. Aus der weißen Masse von großen Feldspäten und Quarzen heben sich gut ausgebildete Kristalle von schwarzem Turmalin und braunem Spessartin ab. Das Gestein ist fast schon als Pegmatit, infolge seiner groben Beschaffenheit, zu bezeichnen. U. d. M. läßt sich der Feldspat als sericitischer Oligoklas-Andesin bestimmen, der Quarz ist schwach kataklastisch, auf Rissen im Feldspat sitzt Sericit (Muskowit). Turmalin und Spessartin fehlen im Schliff.

Ein anderer Aplit hat Parallelstruktur und läßt makroskopisch weißen Feldspat, Quarz und ein grünes Mineral erkennen. U. d. M. sieht man Orthoklas mit undeutlicher Mikroklinstruktur, perthitisch mit Plagioklas verwachsen, sehr wenig Oligoklas, viel runde Körner von schwach kataklastischem Quarz. Das dunkle Mineral ist grüne Hornblende mit Apatit und Orthit, die auch außerhalb der Hornblende vorkommen (Orthit mit Epidotrand). Außerdem treten auf: Pennin, viel Titanit, Turmalin und Schwefelkies. Die Struktur ist granulitisch. Es ist ein Aplit, der aus dem Nebengestein Hornblende aufgenommen hat.

Ein hellgrüner Aplit ist stark zertrümmert und mit Rost durchsetzt. Er besteht aus sericitisiertem Albit, z. T. perthitisch mit Orthoklas verwachsen, aus kataklastischem, z. T. wurmförmig verwachsenem Quarz und aus Chlorit mit Leukoxen. Kalkspat tritt als Gangfüllung auf, Rost ist im ganzen Gestein verteilt. Der äußerlich sichtbaren Zertrümmerung entspricht die Kataklasstruktur.

Im Granit nördlich des Altunbulak fand ich einen gelbgrünen Aplit, der Quarz, Feldspat und Glimmer erkennen ließ. Die mikroskopische Untersuchung ergab, daß dieser Aplit ausgezeichnete mikropegmatitische Verwachsung von Feldspat und Quarz aufweist. Der Orthoklas ist stark sericitisch getrübt, der Quarz kataklastisch. Muskowit mit Leukoxen ist wenig vorhanden, Kalkspat kommt ziemlich viel vor in Körnern und Putzen im Feldspat, Rost.

Endlich sei ein Aplit erwähnt, der durch Resorption von Schiefer umgewandelt ist. Er besteht aus sericitischem Oligoklas-Andesin, schwach kataklastischem Quarz, löcheriger grüner Hornblende mit braunem Biotit verwachsen, außerdem sehr viel Apatit, Zirkon, Orthit und wenig opakes Erz. Die granulitische Struktur ist deutlich ausgeprägt, Quarzkörner finden sich im Feldspat eingewachsen.

Aus den Randzonen des Massivs liegen vor: der violette Gneiß, in welchem der schon besprochene grobkörnige Aplit vorkommt. Der Gneiß ist feinkörnig und besteht aus Oligoklas-Andesin, kataklastischem Quarz und braunem Biotit, der z. T. parallel mit Muskowit verwachsen ist. Nebengemengteile: sehr viele und große Turmaline, viel Apatitnadeln, viel Zirkon, Epidot und Faseraggregat von Sillimanit. Im Biotit pleochroitische Höfe um Zirkon und Apatit.

Injizierter Schiefer: aus abwechselnden Lagen von grünen Mineralien plus Feldspat und Quarz plus Feldspat. U. d. M. sieht man fast frischen Andesin, schwach kataklastischen Quarz, grüne Hornblende und Biotit mit Apatit, sowie sehr viel große Augite, viel Titanit und Schwefelkies. Kalkspat als Neubildung im Feldspat.

Ein weiterer injizierter Schiefer (Glimmerschiefer) zeigt makroskopisch Muskowit und Chlorit und Rost, sowie im Querbruch Quarz in Linsen und Lagen. Der Quarz ist stark kataklastisch, die Glimmer ziehen sich in gewundenen Lagen durch den Schliff. Albit ist wenig vorhanden, um so mehr Kalkspat, ferner Apatit, Zirkon, Epidot, Turmalin, Schwefelkies, Rost und Leukoxen. Braunspat ist ebenso wie der Quarz in den Linsen sekundär.

Basische Gesteine treten auf als Grünstein, nach seiner Zusammensetzung aus sericitisiertem und saussuritisiertem Albit und schilfiger Hornblende (Uralit), wenig Quarz, Epidot und Klinozoisit ein Uralitdiabas, ferner finden sich im Granit Gabbro und zwar wurden untersucht drei Stücke, welche die Zusammensetzung von Hornblendegabbro, von Uralitgabbro und zersetztem Uralitsaussuritgabbro zeigen.

Schließlich seien noch erwähnt: lichter, fast weißer Quarzit. Er zeigt typische Pflasterstruktur und besteht aus einer Masse von kleinen Quarzkörnern, die von verschieden großen Kalkspatputzen durchsetzt ist, außerdem finden sich wenig Feldspat (Plagioklas), sehr wenig Muskowit, Chlorit, Titanit.

Lichtgrauer Marmor aus dem Kalkzug im mittleren Musarttal zeigt ebenfalls Pflasterstruktur und besteht aus Kalkspat mit vereinzelten kleinen Quarzen, Turmalinnadeln und sehr wenig opakem Erz. Diese beiden Gesteine sind Reste aus dem Schieferdache, welche in den Granit eingebrochen sind.

e) Aus der letzten Zone liegen folgende Gesteine vor:

Kristallinischer grauer Kalkstein mit massenhaften stengligen Einschlüssen von weißer Farbe, welche dem Gestein das Aussehen eines Korallenkalkes geben. Auf schmalen Kluftflächen liegt ein schwarzer, erdig-toniger Belag.

U. d. M. sieht man ein Aggregat von Kalkspatkörnern, meist mit Zwillingslamellen nach — $^{1}/_{2}$ R. Typische Pflasterstruktur. Die weißen Stengel bestehen ebenfalls aus Kalkspatkörnern, die nur etwas größer und heller sind als die der grauen Masse. Deren dunklere Färbung rührt von fein verteilter kohliger Substanz her, welche den weißen Partien fehlt. Organische Struktur ist in den Stengeln nicht sichtbar. Schwefelkies ist spärlich vorhanden.

Weißer Marmor: körniges Gestein mit Glimmerlagen. Der Kalkspat bildet einzelne größere Körner und eine Masse kleiner, das Gestein ist stark kataklastisch (gebogene Lamellen, verkrümelte Individuen). Phlogopit und Chlorit bilden dünne Lagen, außerdem sieht man einzelne kataklastische Quarze, Turmalinnadeln und Leukoxen. Sieht man also

hier eine nur schwache kontaktmetamorphe Beeinflussung, so zeigt sich eine solche in viel stärkerem Maße bei einem anderen Gestein, einem aplitisch injizierten Kalkstein. Es ist ein dichter Kalkstein, in welchen das aplitische Material eingedrungen ist. Der Kalkspat ist meist ohne Zwillingslamellen und das Gestein ist durchsetzt von kataklastischem Quarz, sehr wenig Orthoklas, welcher perthitisch mit Plagioklas verwachsen ist und Mikroklinstruktur zeigt, und stark sericitisiertem Plagioklas. Er ist stärker lichtbrechend als Canadabalsam, hat keine Lamellen und ist mit Quarz- und Kalkspattrümmern durchsetzt. Auch Zirkon kommt vor.

Von den porphyrischen Gesteinen untersuchte ich sieben Stück und zwar:

Heller rötlicher Quarzporphyr. Es ist ein feinkörniges Gestein mit Andeutung von Schichtung durch Wechsel von unregelmäßigen rötlichen und weißen Lagen. Ein grünes Mineral und schwarzes Erz sind makroskopisch sichtbar.

U. d. M. sieht man eine feinkörnige Grundmasse von Quarz und Muskowit, sowie wenig chloritisierter grüner Hornblende und Leukoxen. In der Grundmasse liegen größere Individuen von sericitisiertem Orthoklas in perthitischer Verwachsung mit Plagioklas, meist mit Mikroklinstruktur, ferner Linsen und Gänge von schwach kataklastischen Quarzkörnern. Opakes schwarzes Erz ist allgemein reichlich vorhanden. Das Gestein ist völlig zertrümmert.

Lichtgrüner gebänderter Quarzporphyr. Er hat große Ähnlichkeit in der Struktur mit dem vorhergehenden und ist wie dieser ganz zertrümmert. Durch Verrutschung der einzelnen Bestandteile sind sie zerbrochen und als Folge davon liegen an den Enden der größeren Individuen immer eine Masse von kleineren. Zu den Bestandteilen des vorigen treten noch Titaneisen, Epidotkörner, Turmalin, Rost, statt des Muskowits Chlorit und Sericit.

Ein weiterer, violetter Quarzporphyr ist so sehr zertrümmert, daß die Lagenanordnung undeutlich wird. Er besteht aus stark sericitisiertem Orthoklas bzw. Mikroklin, sehr wenig Oligoklas-Andesin und stark kataklastischem Quarz. Dazu treten Sericit, der sich in gewundenen Zügen um die Quarze und Feldspäte herumlegt, als Neubildung Kalkspat, ferner Titaneisen mit Leukoxen, Zirkon, Apatit, Turmalin und Rost.

Rotbrauner, gebänderter Quarzporphyr. Das Gestein ist sehr feinkörnig und zeigt deutliche Lagenstruktur mit Wechsel von quarzreichen und -armen Lagen. Größere Quarze heben sich aus der Masse heraus, in der makroskopisch noch schwarzes Erz sichtbar ist.

U. d. M. erkennt man vorherrschend aus Biotit und Sericit bestehende Lagen mit wenig Quarzen und solche, die meist aus kleinen kataklastischen Quarzkörnern bestehen, zwischen denen hie und da größere Körner liegen. Feldspat ist nur in wenigen schlechten Individuen vorhanden, es scheint ein saurer Plagioklas zu sein. Außerdem kommen vor: Turmalin, opakes Erz sowie Kalkspat, der in einer der Quarzlagen des Schliffes sehr zahlreich vorhanden ist.

Grauer Quarzporphyr: feinkörnige, gebänderte Grundmasse von kataklastischem Quarz, sericitischem Albit, Biotit und Sericit. Dazu treten als Nebengemengteile viel Apatit, dann Zirkon, Turmalin, Titaneisen mit Leukoxen, opakes Erz, sekundär Schwefelkies mit Rostrand. In der Grundmasse liegen als größere Einsprenglinge Lagen und Linsen von

Albit und Quarz, der stark kataklastisch ist und z. T. in eine Masse von kleinen Körnern zertrümmert ist.

Dieses Gestein hat nach seinem Bestand sehr große Ähnlichkeit mit einem Quarzkeratophyr.

Lichter rötlicher und grünlicher Quarzporphyr mit zur Bänderung parallelen und senkrechten Turmalin-Quarzgängen. Das Gestein hat dichte Grundmasse, in der einzelne kleine Quarze und Feldspäte liegen. Die mikroskopische Untersuchung ergibt sericitisierten Orthoklas in perthitischer Verwachsung mit Plagioklas und einen basischen Plagioklas (Labrador-Bytownit?), stark kataklastischen Quarz. Als Nebengemengteile treten auf Apatit, Rutil, Zirkon, Turmalin, Leukoxen, ferner rhomboëdrische Karbonate als Einschlüsse im Feldspat und als Gangfüllung. Glimmer und Titanmineralien fehlen. Die Grundmasse hat Pflasterstruktur und besteht aus kleinen Quarzen mit Andeutung von Bänderung durch Einschaltung von Gängen größerer kataklastischer Quarze.

Blaugrauer Quarzporphyr mit schwacher Bänderung. Auf den Bruchflächen sieht man kleine Einsprenglinge von Quarz und rötlichem Feldspat. U. d. M. sericitischer Orthoklas mit Mikroklinstruktur, der perthitisch mit Plagioklas verwachsen ist, sericitischer Albit, kataklastischer Quarz, brauner Biotit, Muskowit und Sericit. Als Nebengemengteile treten auf: Zirkon, Titaneisen mit Leukoxen, opakes Erz und Kalkspat auf Rissen. Die Glimmer liegen meist an den Rändern der Einsprenglinge von Orthoklas und Albit. Die Struktur der Grundmasse ist die gleiche wie bei dem vorhergehenden Gestein und die Bänderung entsteht ebenso wie dort durch Einschaltung von Gängen größerer kataklastischer Quarze.

Injizierte Schiefer: ein Stück besteht aus einer feinkörnigen halbaplitischen Grundmasse aus gleichmäßigen Körnern von Orthoklas, Quarz und etwas leistenförmigem Plagioklas. In der Grundmasse liegen größere Einsprenglinge von Oligoklas-Andesin, sericitisch, mit Zonarstruktur. Die basischen Mineralien sind vollständig zersetzt in Aggregate von grünem Glimmer mit Epidot unter Ausscheidung von Titansäuremineralien. In der Grundmasse viel Mikrolithen (Zoisitreihe?).

Ein anderes Stück zeigt makroskopisch Wechsel von grünen Glimmer- und weißen Quarzlagen. U. d. M. sieht man kataklastischen Quarz, Orthoklas, sehr wenig Albit und als dunkles Mineral ausgebleichten Biotit und grüne z. T. chloritisierte Hornblende. Nebengemengteile: Titanit, Leukoxen, opakes Erz, Schwefelkies.

Epidotfels: das Gestein besteht aus unregelmäßigen Partien von Epidot mit Feldspat und kleinen Quarzen, die von Gängen und Lagen von Quarz mit ausgezeichneter Pflasterstruktur und Kalkspat durchzogen sind, dunkelgrüner Chlorit und Biotit liegt meist dazwischen. Der Feldspat ist sericitischer Andesin, auch grüne Hornblende, z. T. chloritisiert, ist vorhanden, ferner Magneteisen, Titaneisen, Leukoxen. Daraus ergibt sich, daß das ursprüngliche Gestein, vielleicht ein basisches Eruptivum, umgewandelt und sekundär von Quarz infiltriert ist.

Auch in der Kalkzone fand ich einen Grünstein (Uralitdiabas) von gleicher Zusammensetzung wie der aus der Phyllitzone (S. 77) beschriebene.

Aplitische Injektion macht sich auch bei einem braunen Phyllit bemerkbar, der ebenso wie zwei sich sehr ähnliche grauschwarze Phyllite in den Schuttkegeln am Musartpaß gefunden wurde. Das Gestein besteht aus Lagen von vorherrschend braunem Biotit mit

wenig Muskowit und kataklastischem Quarz, welche durch Lagen von kataklastischen Quarzen mit sehr wenig Glimmermaterial und hie und da Feldspäten (Albit?) getrennt sind. Titaneisen, Leukoxen, Schwefelkies mit Rostrand sowie Turmalin als Nebengemengteile.

Die grauschwarzen Phyllite haben, wie erwähnt, untereinander große Ähnlichkeit. Sie bestehen aus, z. T. intensiv gefältelten, Lagen von Biotit und Muskowit sowie solchen von kataklastischem Quarz, zu dem bei dem einen Stück noch Kalkspat tritt. Dazu kommen spärlicher Turmalin und Graphit in staubfeiner Verteilung.

Auch nur im Geröll fand ich einige Stücke von Hornblendesyenit. Er besteht aus Orthoklas, der mikropegmatitisch mit Quarz verwachsen ist, wenig sericitischem Oligoklas, wenig kataklastischem Quarz, z. T. in wurmförmiger Verwachsung, sowie braungrüner, z. T. chloritisierter Hornblende. Dazu treten noch gelbgrüner Epidot, viel Apatitnadeln, Kalkspat und Schwefelkies.

Endlich seien noch die Ergebnisse der Untersuchung zweier Granite mitgeteilt, welche am Rande der Kalkzone zutage treten. Es sind dies:

Granitporphyr vom Turaschutal. Ein porphyrisches Gestein, in dem makroskopisch zu erkennen sind: blaßroter Orthoklas, z. T. in großen Kristallen (Karlsbader Zwillinge), lichtgrüngelber Plagioklas, lichtgrauer Quarz und ein schwarzgrünes Mineral. U. d. M. zeigen sich als Hauptbestandteile perthitisch mit Plagioklas verwachsener Orthoklas, der an Stellen starker mechanischer Beeinflussung Mikroklinstruktur hat, Oligoklas-Andesin in bedeutender Menge, trüb infolge von Sericitisierung, mit massenhaften Einschlüssen von Titanit sowie, weniger zahlreich, Apatit. Quarz schwach kataklastisch, z. T. in wurmförmiger Verwachsung mit Orthoklas.

Das schwarzgrüne Mineral ist Chlorit (Pennin), der in zwei Modifikationen auftritt. Die eine stärker pleochroitische und stärker doppelbrechende ist aus Biotit hervorgegangen, die andere ist schwächer pleochroitisch und schwächer doppelbrechend und durch Umwandlung von grüner Hornblende entstanden. Beide Modifikationen haben zahlreiche Einschlüsse von Titanit, die bei der aus Hornblende hervorgegangenen Art regellos verteilt sind, während sie im chloritisierten Biotit, den Spaltrissen folgend, parallel gelagert sind. Die Lamellen des umgewandelten Biotits sind z. T. gebogen. Pleochroitische Höfe um Einschlüsse von Zirkon, ferner Einschlüsse von Apatit.

Von Nebengemengteilen treten auf: Titanit in bedeutender Menge, Zirkon, Apatit, Muskowit und Eisenglanz. Die Grundmasse hat ausgezeichnete granitische Struktur, tritt aber gegenüber den porphyrischen Individuen sehr zurück. An einem Stück fand sich eine grüne, feinkörnige Partie, die als Aplit zu bezeichnen ist.

Granit am Dondukolpaß. Ein Gestein mit schwach porphyrischem weißem Feldspat, lichtgrauem Quarz, schwarzgrünem Biotit und rotbraunem Titanit (Grothit) in Briefkouvertform.

U. d. M. zeigt sich, daß der Orthoklas perthitisch mit Plagioklas verwachsen und schwach sericitisiert ist, daneben ist Mikroklin vorhanden. Wenig Oligoklas, gleichfalls nur wenig sericitisiert. Quarz kataklastisch, vermiculé. Der Biotit ist braun mit Einschlüssen von Apatit und Zirkon. Nebengemengteile: der schon makroskopisch sichtbare Titanit in bedeutender Menge, Epidotkörner, Apatit, Zirkon und opakes Erz. Die Grundmasse ist granitisch struiert. Struktur stark kataklastisch.

Wir sehen also in dem ganzen Profile durch das nördliche große Musarttal kein einziges der bisher als typisch betrachteten Kontaktgesteine. Dagegen treffen wir in großer Ausdehnung kristalline Schiefer und Phyllite und sehen Apophysen des Granites in diese Gesteine eindringen, den Granit gegen den Rand des Massivs schiefrig werden und allmählichen Übergang von diesem Gneiß zu Glimmerschiefer und Phyllit. Wenigstens gilt dies für den inneren Granit, während ich in Bezug auf den äußeren Granit keine entsprechenden Beobachtungen machen konnte. Denn hier ist nur die Südgrenze des Massivs sichtbar und auch diese ist infolge starker Bewaldung schlecht aufgeschlossen; die nahe der Grenze in der Phyllitzone liegende Partie von zertrümmertem Granit dürfte aber genügen, um das jüngere Alter des Granites sicherzustellen.

Kehren wir zurück zu dem inneren Massiv! Nach dem, was eben darüber gesagt wurde und was die mikroskopischen Untersuchungen ergaben, erhalten wir große Übereinstimmung mit den Verhältnissen in den östlichen Zentralalpen und anderen Gebieten, wie den kleinen Karpathen, dem Erzgebirge etc. In all diesen Gebieten fehlen die früher als typisch angesehenen Kontaktgesteine. Daß aber der Granit dort stets jünger ist als die Schiefer, ist jetzt zweifellos nachgewiesen und ebenso, daß er Kontaktmetamorphose auf seine Umgebung ausgeübt hat. Nur ist das Produkt dieser Metamorphose nicht das normale mit Hornfelsen, Knotenschiefern u. s. w., sondern statt dessen treten die Glimmerschiefer etc. auf.

Ich beabsichtige nicht, weiteres über diese Frage zu bringen, möchte aber nur noch bemerken, daß die Erscheinungen in ihrer Gesamtheit große Ähnlichkeit haben mit den für die Piëzokontaktmetamorphose als typisch angesehenen. Das gibt uns einen Hinweis auf die Zeit des Empordringens des Granites. Im Agiastal hat er den Kalk des oberen Unterkarbons metamorphosiert, ist also jünger als dieses. Da aber im nördlichen Chalyktau nach dem Unterkarbon Sedimente erst wieder im Tertiär abgelagert wurden und der Granit in dieser Zeit schon erstarrt und freigelegt war, bliebe für die Intrusion des Granites der ganze Zeitraum vom Ende des Unterkarbons bis zum Tertiär. Durch die vom Granit ausgeübte Kontaktmetamorphose nun, welche die Gleichzeitigkeit der Intrusion mit starker Gebirgsbildung beweist, können wir als Zeit der Intrusion mit Sicherheit die der ersten großen Gebirgsbildung nach dem Unterkarbon annehmen. Diese muß aber schon vor Beginn des Oberkarbons begonnen haben, denn das Meer der Oberkarbonzeit gelangte nicht mehr bis zum Hauptkamm des Chalyktau, sondern blieb auf die südlichen Vorberge beschränkt.

Gleiches Alter muß für den Quarzporphyr in der zentralen Kette angenommen werden. Denn auch diese Gesteine lassen die Wirkung starken Druckes, der bei ihrem Empordringen geherrscht hat, erkennen. Überall, wo sie anstehen, zeigen sie Schieferung quer zur Richtung des stärksten Druckes, an manchen Stellen sind sie als Sericitschiefer und Sericitgneiße ausgebildet.

Geologische Geschichte.

In diesem Abschnitt soll versucht werden, auf Grund der Anschauung, welche ich von dem bereisten Gebiet gewonnen habe, eine Übersicht über Entstehung und Bau dieses Teiles des Tian-Schan zu geben.

Ich sehe davon ab, frühere Arbeiten über den Tian-Schan zu besprechen, denn dies hat bereits Keidel[1]) 1906 getan. Außerdem war in dem von mir bereisten Teile des Chalyktau noch kein Geologe gewesen und nur an der Westgrenze im großen Musarttal war außer Ignatjew 1886 auch Keidel 1902, ohne aber dort genauere Untersuchungen anzustellen. Aus diesem Grunde kann hier auf die Anführung älterer Literatur verzichtet werden. Eine unentbehrliche, äußerst wertvolle Hilfe bei der Deutung vieler Fragen gewährt dagegen die Arbeit von Keidel[1]) über den nördlichen Teil des zentralen Tian-Schan und die sich anschließende petrographische Untersuchung von Gesteinen des Bayumkoltales durch Richarz[1]). Auch die Arbeit von Kleinschmidt und Limbrock[2]) über die Gesteine des südlichen Musarttales bietet manches Beachtenswerte, besonders über die zentrale Zone. Einige allgemeine Bemerkungen über die geologischen Verhältnisse des von ihm und mir bereisten Gebietes hat bereits Merzbacher in den Reisebriefen, vorläufigen Mitteilungen und im Druck erschienenen Vorträgen gemacht, welche er über die Reise veröffentlicht hat.

Die Übersichtskarte (Taf. 1) zeigt, daß die verschiedenen Gesteinsgruppen, welche sich am Bau des nördlichen Chalyktau beteiligen, in breiten, meist über das ganze Gebiet hin sich erstreckenden Zonen angeordnet sind. Im W, im großen Musarttal, können wir fünf solche Zonen unterscheiden und zwar von S nach N:

zentrale Kalkzone,
innere Phyllitzone,
inneres Granitmassiv,
äußere Phyllitzone,
äußeres Granitmassiv.

Die zentrale Kalkzone bildet den Hauptkamm des Chalyktau. Nach W setzt sie sich in den zentralen Tian-Schan fort und dessen höchste Erhebungen liegen in ihr. Nach O erstreckt sie sich als wasserscheidender Kamm zwischen N und S bis zur Grenze des von mir bereisten Gebietes. Die Gesteine dieser Zone sind hauptsächlich Kalke, welche ich für unterkarbonisch halte, und die verschiedenen Arten der Quarzporphyre, welche am Musartpaß in einzelnen, dem Kalk eingeschalteten Zügen auftreten, nach O aber an Masse rasch zunehmen und im Koprsai- und Khaptnsugebiet ihre größte Ausdehnung in N-S

[1]) Keidel und Richarz, Ein Profil durch den nördlichen Teil des zentralen Tian-Schan. Abh. d. II. Kl. d. Ak. d. Wiss. München, 23, 91—212.

[2]) Kleinschmidt und Limbrock, Die Gesteine des Profils durch das südliche Musarttal im zentralen Tian-Schan. Ebenda, 213—232.

Richtung mit 10 und 15 km erlangen. Weiter nach O nehmen sie wieder ab und in den Seitentälern des oberen Koksu herrscht der Kalk weitaus vor.

Der Kalk ist dort, wo die Quarzporphyre ihn in breiten Zügen durchsetzen und wo sie ihre größte Mächtigkeit haben, auch am stärksten metamorphosiert und daher ist er in den westlichen Teilen größtenteils in Marmor umgewandelt und enthält häufig Kontaktmineralien. Die organischen Einschlüsse sind bei der Umwandlung meist völlig zerstört worden und nur selten sind Reste erhalten in weniger stark beeinflußten Partien. Im Osten ist die Umwandlung geringer entsprechend der geringen Mächtigkeit und dem mehr vereinzelten Auftreten des Quarzporphyrs, woraus geschlossen werden kann, daß das zum Porphyr gehörige Granitmassiv dort in größerer Tiefe steckt.

Die Breite der Zone beträgt allein auf der Nordseite im Agiasgebiet etwa 20 km. Wie weit sie nach S reicht, ist mir nicht bekannt, daß sie aber auch auf der Südseite noch große Ausdehnung hat, geht aus den Beobachtungen im südlichen Musarttal hervor, wo sie bis ungefähr 30 km südlich des Musartpasses reicht, so daß sie im Meridian dieses Passes 35—40 km breit ist.

Wo der Kontakt mit der nächsten, nördlich folgenden Zone aufgeschlossen ist, sieht man, daß der Kalk diskordant auf den Gesteinen der inneren Phyllitzone liegt. Auch diese Zone streicht vom zentralen Tian-Schan herüber, wo sie ziemlich schmal ist. Im Chalyktau nimmt sie rasch an Breite zu und verläuft parallel mit der Kalkzone.

Es folgt das innere Granitmassiv, das ebenso wie im zentralen Tian-Schan auch im großen Musarttal einen Teil der Phyllite als äußere Phyllitzone von der inneren abtrennt. Es verläuft erst in nordöstlicher, später in ostnordöstlicher Richtung und ist ebenfalls durch die ganze Nordseite des Chalyktau zu verfolgen. Es ist jünger als die Phyllite und auch jünger als der unterkarbonische Kalk, denn es hat auf beide Gesteine Kontaktmetamorphose ausgeübt.

Nördlich von ihm liegt die äußere Phyllitzone im unteren Teil des großen Musarttales. Sie streicht vom Bayumkoltal herüber in NO Richtung, erreicht daher wenig östlich des großen Musarttales den Rand der Tekesebene und wird hier durch Brüche abgeschnitten. Ihre Fortsetzung habe ich nicht gefunden, sie müßte bei gleicher Streichrichtung jenseits des Tekes unter dem transgressiven unterkarbonischen Kalk des Attuintau liegen. Wenn sie aber die Wendung des Granitmassivs aus NO in ONO Richtung mitmachen würde, müßte sie unter dem Kalk des Syrtes liegen, den der Koksu durchbricht.

Die äußere Phyllitzone endigt also östlich des großen Musarttales und an ihre Stelle tritt der transgressive unterkarbonische Kalk der äußeren Ketten. Er ist an vielen Stellen von Porphyrit durchbrochen. Von der Hauptmasse dieses Kalkes in den nördlichen Ketten des Chalyktau trennt der Tekesfluß ein Stück, den Attuintau, welcher den gleichen Bau zeigt wie das Gebiet südlich des Tekes.

Als letzte Zone trafen wir im großen Musarttal das äußere Granitmassiv. Es reicht, gleich den anderen Zonen, in NO Richtung aus dem zentralen Tian-Schan herüber, die Fortsetzung des südlichen äußeren Granitzuges vom unteren Bayumkoltal bildend. Es verläuft schief zur Begrenzung des Tekesbeckens, dessen Rand es ungefähr zwischen kleinem Musart und wenig östlich des großen Musart bildet. Seine Fortsetzung ist an den Randbrüchen des Tekesbeckens eingesunken und tritt erst jenseits des Beckens wieder hervor. Wir sehen im westlichen Temurlyktau fast das ganze Gebirge vom Granit auf-

gebaut, im östlichen Teil dieser Vorkette dagegen ist der Granit auf die südlichen Vorberge beschränkt. Hier im Temurlyktau bildet der Granit nicht nur die Fortsetzung des südlichen äußeren Zuges Keidels, sondern auch die des nördlichen äußeren; eine Trennung in diese zwei Züge läßt sich aber nicht durchführen.

Auch im Temurlyktau hat der unterkarbonische Kalk große Mächtigkeit und Ausdehnung. Ist sie im W noch gering, so steigt sie nach O rasch und im Chonochaigebiete erlangt der Kalk seine größte Ausdehnung. Durch den Wegfall von kontaktmetamorpher Umwandlung sind hier in ihm auch die Fossilien erhalten geblieben.

Nach diesen zusammenfassenden Ausführungen über die einzelnen Zonen möge die chronologische Ordnung der Gesteine folgen:

	Sedimente	Eruptiva
Känozoikum	Diluvium, Alluvium, Hanhaischichten	
Mesozoikum } Perm	Angaraschichten	Porphyrit, Basalt
Karbon	Kalk des oberen Unterkarbons in der zentralen Zone und in den äußeren Ketten	Quarzporphyr der zentralen Zone, innerer Granit mit Quarzporphyr
ält. Paläozoikum	Gesteine der Phyllitzone	Porphyrit im südl. Temurlyktau, äußerer Granit (mit Quarzporphyr im westl. Temurlyktau), Gabbro

Die ältesten Bildungen sind die Gesteine der Phyllitzone. Sie sind fast durchaus umgewandelt und enthalten keine fossilen Reste mehr, so daß es unmöglich ist, ihr Alter zu bestimmen. Da sie aber diskordant unter dem Kalk des Unterkarbons liegen und der Kalk nicht überschoben ist, sondern transgrediert, sind sie älter als dieser und somit Ablagerungen des älteren Paläozoikums. Sie besitzen große Mächtigkeit, es ist aber nicht möglich, festzustellen, wieviel davon auf Rechnung tektonischer Bewegungen zu setzen ist. Daß Störungen der Lagerung wenigstens an einzelnen Stellen stattgefunden haben, geht aus dem plötzlichen Wechsel der Streich- und Fallrichtungen hervor, es gelang aber im einzelnen nur selten, Art und Betrag der Störung nachzuweisen.

Auf großen Strecken dagegen ist die Lagerung vollständig die gleiche und wir sehen dann, mit geringen Abweichungen, daß die Hauptstreichrichtung der Phyllite WSW—ONO ist. Das Einfallen ist in den Gebieten des Koksu und Agias in den nördlichen Teilen der Zone meist nach N gerichtet, in den südlichen meist nach S, im Musartgebiet dagegen durchaus steil südlich.

Die Gesteine dieser Zone bilden, wie schon gesagt, den ältesten sichtbaren Teil des Gebirges. Die nächst jüngeren Gesteine sind die äußeren Granite. Sie sind jünger als die Phyllite, denn sie haben Kontaktmetamorphose auf sie ausgeübt. Sie sind aber älter als der unterkarbonische Kalk, der transgressiv über Phylliten und äußeren Graniten liegt. Die Intrusion der äußeren Granite muß demnach im älteren Paläozoikum erfolgt sein.

Die Gesteine der Phyllitzone und die äußeren Granite, zu denen im südlichen Temurlyktau noch der Porphyrit unter dem Unterkarbon tritt, bilden den Rest der ältesten Anlage des Tian-Schan.

Diese alten Bildungen wurden nach ihrer Ablagerung, vielleicht gleichzeitig mit dem Empordringen des Granites, aufgerichtet und wir sehen also die erste Gebirgsbildung in präkarbonischer Zeit.

Nach seiner Entstehung scheint dieses Gebirgsland beträchtlicher Abtragung unterlegen zu sein, der Granit wurde großenteils freigelegt und über die so entstandene Rumpffläche transgrediert im Unterkarbon das Meer.

Auffallend ist hier das Fehlen von Transgressionskonglomeraten im Chalyktau, während doch im zentralen Tian-Schan Keidel diese Konglomerate an verschiedenen Stellen antraf. Es läßt dies darauf schließen, daß im Chalyktau die Transgression nicht durch langsames abradierendes Vordringen des Meeres erfolgte, sondern durch rasche Überflutung weiter Gebiete, die vielleicht durch Senkung des Landes ermöglicht wurde.

Kalkmassen von mindestens 600 m Mächtigkeit wurden diskordant auf den alten Gesteinen, Phylliten und Granit, abgelagert und bedeckten wahrscheinlich das ganze Gebiet. Hier sei noch erwähnt, daß die sicheren Beweise für die Transgression nicht zahlreich sind, wenigstens in den inneren Teilen nicht. Ich habe aber schon S. 69 u. f. auseinandergesetzt, welche Gründe ich für die Transgression habe.

Mit dem Ende der Unterkarbonzeit erfolgt rasch der Rückzug des Meeres nach S, woher es gekommen war, das ganze Gebiet wird trocken gelegt und es beginnt die zweite große Gebirgsbildung.

Von neuem dringt das Meer im Oberkarbon nach N vor, aber es gelangt nicht mehr weit, die inneren Teile des Gebirges sind schon hoch gehoben und das Meer bleibt auf die niedrigen Gebiete am Südrand beschränkt.

Nach der Ablagerung des Unterkarbons erfolgt die Intrusion der inneren Granite und damit im Zusammenhang das Aufsteigen der Quarzporphyre der zentralen Zone.

Denn die anormale Kontaktmetamorphose, welche die inneren Granite auf ihre Nebengesteine ausgeübt haben, kann nach allem, was bis jetzt über diese Art der Metamorphose bekannt ist, nur geschehen sein unter gleichzeitig wirkendem starkem Druck, und es ergibt sich mit Notwendigkeit das zeitliche Zusammentreffen von Gebirgsbildung und Intrusion bzw. Effusion.

Hier sei noch erwähnt, daß überall, wo die Kalke steil aufgerichtet sind, Quarzporphyre in der Nähe anstehen; wo diese aber fehlen, liegen die Schichten des Kalkes flach. Daher treffen wir flache Lagerung nicht nur in den äußeren Ketten, sondern auch in der zentralen Zone dort, wo der Quarzporphyr fehlt oder nur in gering mächtigen Stöcken auftritt, wie im Mustamas- und Saksanteketal, während von hier nach West mit dem Überhandnehmen des Quarzporphyrs auch der Kalk durchwegs steile Schichtstellung zeigt und meistens in Marmor umgewandelt ist.

So erscheint die postunterkarbonische oder zweite Zeit der Gebirgsbildung als die für den Chalyktau weitaus bedeutendste. Nicht nur wurde das Gebiet in jener Periode endgiltig Festland und Gebirge, sondern es wurden auch die altpaläozoischen Sedimente — soweit dies nicht schon durch den präkarbonischen äußeren Granit geschehen war, — in die Form gebracht, in welcher sie uns heute noch entgegentreten, und es erfuhr der karbonische Kalk der äußeren Gebirgsteile und besonders der der inneren Ketten seine kontaktmetamorphe Umwandlung.

Wie stark in dieser Zeit die Gebirgsbildung gewesen ist und wie groß der Betrag des Zusammenschubes ist, welchen die Gesteine damals erlitten haben, ist schwerlich festzustellen. Allein wir können aus der Lagerung der äußeren und inneren Kalkmassen darüber vielleicht Auskunft gewinnen!

Die äußeren Kalke, besonders die im untersten Koksugebiet, sind nur wenig gefaltet und liegen, von kleineren, räumlich wenig ausgedehnten Faltungen abgesehen, im ganzen ziemlich flach. Auch in den inneren Kalkgebieten treffen wir auf große Strecken, im Mustamas- und besonders im Saksanteketal, schwach geneigte Lagerung. An solchen Stellen sind die Kalke immer weniger umgewandelt, als in Gebieten mit starker Aufrichtung der Schichten. Der Grund dafür ist aber durchaus nicht in dynamometamorphen Vorgängen zu suchen, sondern einzig und allein in der Verbreitung der Quarzporphyre, wie schon oben erwähnt. Es fehlen bei den flach liegenden Kalkmassen die Quarzporphyre und umgekehrt sind dort, wo diese anstehen, auch meistens die Kalke mehr oder weniger steil aufgerichtet.

Daher herrscht im Musart- und Koprsaigebiet, z. T. auch im Khaptnsutal steile bis senkrechte Stellung der Kalkschichten vor und die Quarzporphyre zeigen eine Schieferung, welche parallel der Streichrichtung der Kalke verläuft und da auch die Fallwinkel meist die gleichen sind, erweckt die Lagerung den Eindruck vollkommener Konkordanz.

Daraus geht hervor, daß die Aufrichtung der Kalkschichten gleichzeitig mit dem Eindringen der Quarzporphyre vor sich gegangen ist und daß die Schieferung dieser Gesteine eine primäre, durch den herrschenden Druck erzeugte ist.

Vom Ende des Unterkarbons an bleibt das gesamte zentrale Gebiet des Tian-Schan frei von Meeresbedeckung.

Nur einzelne Becken werden in späterer Zeit noch von großen Binnenseen ausgefüllt und von dem Angarameer im Gebiete des heutigen östlichen Tian-Schan erstrecken sich Ausläufer, Buchten, zwischen die Gebirgsketten nach West. Daher fehlen im zentralen Tian-Schan und im Chalyktau Meeressedimente, die jünger sind als Unterkarbon, und erst im Tertiär bilden sich in einzelnen abgeschlossenen Becken klastische Sedimente.

In dem gesamten, bis heute untersuchten Gebiete des zentralen Tian-Schan und Chalyktau ist nirgends eine Spur von Angaraschichten gefunden worden. Die Annahme aber, daß eben die vorhandenen Angaraschichten durch subaërische Abtragung vollständig verschwunden seien, erscheint mir zu gewagt.

War somit der bedeutendste Teil des Gebirges (zentraler Tian-Schan und Chalyktau) im jüngsten Paläozoikum und im ganzen Mesozoikum frei von jeder Meeresbedeckung, so finden wir doch Ablagerungen aus jener Zeit im Ilibecken. Auch das Gebiet des heutigen Temurlyktau blieb wahrscheinlich, wenigstens im Gebiete des Aulietasch, trocken, aber an seinem Nordfuß lagerten sich in der Angarazeit klastische Sedimente ab. Aus den dürf-

tigen Beobachtungen, welche ich im Talkytal des dsungarischen Alatau am Nordrand des Ilibeckens machen konnte, ergibt sich, zusammen mit der Tatsache, daß Angaraschichten im Becken selbst nordwestlich Kuldscha anstehen, die Ausdehnung des Angarameeres über das ganze Ilibecken. Es bestand hier eine zwischen die Gebirgsländer sich einschiebende Bucht des Meeres, das im östlichen Tian-Schan große Ausdehnung hatte.

Während dieser Zeit erfolgten sowohl im Ilibecken selbst, als auch im Chalyktau Ausbrüche von Porphyrit, der als Decken und in Form von Stöcken und Gängen zwischen den Angaraschichten liegt und im Gebiete der äußeren Gebirgsteile: im Attuintau und in den Vorbergen des Chalyktau, den unterkarbonischen Kalk durchbrochen hat.

Ob Gebirgsbildung in dieser Zeit im Tian-Schan stattgefunden hat, läßt sich nicht entscheiden. Sicher blieb unser Gebiet in dieser Periode frei von großen tektonischen Bewegungen und die Umgestaltung und Weiterbildung blieb auf äußere Vorgänge beschränkt (abgesehen natürlich von den Porphyritergüssen!). In diese lange ruhige Periode fällt die Entstehung von großen Destruktionsflächen. Es ist über diese Formen der Erdoberfläche in der letzten Zeit so viel geschrieben worden, daß ich es füglich unterlassen kann, mich näher darüber auszusprechen. Ich erwähne nur, daß nach meinen Beobachtungen (siehe Route unteres Koksu!) die zuerst von Friederichsen, der ja überhaupt als erster diese Formen aus dem Tian-Schan beschrieb, angenommene und dann von Keidel durch weitere Tatsachen gestützte Entstehungsart der Peneplains durchaus richtig ist. Diese Flächen sind also im Mesozoikum während einer langen Zeit verhältnismäßiger Ruhe durch die Gesamtheit der subaërischen Vorgänge entstanden. Die Destruktionsfläche, welche der untere Koksu durchbricht, ist ein Teil einer riesigen Fläche, welche am Nordrand des Chalyktau liegend nach W sich bis über das große Musarttal hinaus erstreckte und wahrscheinlich auch weite Gebiete des heutigen Tekesbeckens einnahm. Ziemlich sicher erscheint dies für den Attuintau, der nicht nur die gleichen Gesteine aufweist wie das Gebiet jenseits des Tekes, sondern auch heute noch eine nicht sehr reich modellierte Oberfläche besitzt, wenn natürlich auch die Zernagung dieses nach allen Seiten isolierten Gebietes stärker vorgeschritten ist als südlich des Tekes in dem geschlossenen Gebiete.

Friederichsen und Keidel nehmen weiter an, daß im Tertiär die großen Destruktionsflächen durch radiale Bewegungen zerstückelt und ihre einzelnen Teile in verschiedene Höhenlage gebracht wurden. Die von mir aufgefundene Verwerfung im Kurdaital zwischen dem Granit des Hochgebirges und dem Kalk der Peneplain scheint für diese Annahme zu sprechen, wenn gleich sie nicht direkt als Beweis für tertiäre Dislokation gelten kann. Da aber bis heute keine Spuren von mesozoischen Dislokationen im zentralen Tian-Schan gefunden sind und Keidel vom südlichen Tian-Schan Konkordanz von Angara- und Hanhaischichten beschreibt, ist es sehr wahrscheinlich, daß auch diese Verwerfung erst im Tertiär entstanden ist.

Damit kommen wir zu der letzten großen Periode der Gebirgsbildung. Das einzige noch vorhandene Meer im Ilibecken scheint noch im Tertiär bestanden zu haben, wenigstens deutet konkordant auf Angaraschichten liegender geschichteter Löß nordwestlich Kuldscha darauf hin. Die Ausdehnung dieser Meeresbucht muß aber bedeutend abgenommen haben und bald muß die Bucht gänzlich vom Meere abgetrennt worden sein. Es entstand ein Binnensee, in den die einmündenden Flüsse reichlich grobklastisches Material einführten. Seine Sedimente sind am Südfuß des dsungarischen Alatau in großer

Mächtigkeit erhalten. Sie liegen hier noch in der ursprünglichen Neigung, mit 5 bis 10° S fallend.

Gleichfalls ihre primäre Neigung beibehalten haben die Hanhaischichten im oberen Koksugebiet. Auch hier bestand im Tertiär ein großes Becken, das sich nach O in das Yuldusgebiet fortsetzte.

Einen dritten See treffen wir im Tekesbecken. Auch hier liegen die Sedimente horizontal. Der Bildung dieses Sees muß aber die Entstehung des Beckens vorausgegangen sein. Daher muß eine Zeit tektonischer Bewegungen angenommen werden, welche hauptsächlich durch Verschiebungen in vertikaler Richtung charakterisiert ist. In ihr entstanden die Becken im Inneren des Gebirges und zwischen den einzelnen Ketten, das Ilibecken wurde von dem Meere getrennt, die Angaraschichten im Talkytal und am Nordfuß des Temurlyktau wurden gefaltet. Erst nach dieser Periode sind die grobklastischen Schichten in den einzelnen Becken abgelagert worden, ihr Alter muß daher jungtertiär bzw. pleistocän sein.

Die inneren Teile des Gebirges scheinen in dieser Zeit nur in der Weise umgestaltet worden zu sein, daß vertikale Bewegungen erfolgten und durch Senkungen einzelner Teile und besonders der Randpartien die Höhenunterschiede vergrößert wurden.

Meine Beobachtungen über die jungen Sedimente sind zu vereinzelt, als daß ich darüber mehr als bloße Vermutungen äußern könnte. Dazu kommt, daß bei dem Fehlen von Versteinerungen keine Möglichkeit gegeben ist, zu entscheiden, welcher Stufe diese Bildungen angehören und wo die Grenze zwischen jungtertiären und pleistocänen Seebildungen z. B. zu ziehen ist.

Einige Worte noch über die tektonischen Verhältnisse! Wie im zentralen Tian-Schan, so fehlen auch im Chalyktau auf der Nordseite Falten fast vollständig und die Schichten liegen in den äußeren Teilen im NO ziemlich flach, stehen dagegen in den Phyllitgebieten und den inneren Teilen meist steil (S fallend) bis senkrecht, wobei aber auch auf großen Strecken (Koksu- und Agiaslängstal) N Fallen vorkommt.

Die Streichrichtung ist im ganzen Nordabhang des Chalyktau vom Rand gegen die Tekesebene bis zum wasserscheidenden Kamm ziemlich die gleiche. Ostnordöstliche Richtung herrscht weitaus vor und ist geradezu bezeichnend für die Phyllitregion, in der nur im Saksanteke- und obersten Musarttal W-O Richtung auftritt.

Die zentrale Zone dagegen zeigt stärkeren Wechsel. Sie hat am Musartpaß reines W-O Streichen, im Koprsaigebiet NO, im Khaptnsu- und Koksugebiet W-O und ONO. Entsprechend hat auch die Schieferung der Quarzporphyre am Musartpaß W-O Richtung, im Koprsaigebiet aber verläuft sie spitzwinklig zu der des Kalkes, nämlich W-O, und im Khaptnsu wieder parallel mit seiner Streichrichtung (ONO).

Aus diesen Angaben geht hervor, daß es nicht richtig ist, wenn Keidel[1]) für den Chalyktau OSO Richtung und eine Änderung der Streichrichtung vom Pik Nicolai Michailowitsch nach O aus ONO über W-O in OSO annimmt. Ignatjew will im großen Musarttal NW Streichen gesehen haben. Wenn dies der Fall ist, kann es sich nur um lokal anderes Streichen handeln, denn ich habe im ganzen Musarttal diese Streichrichtung nicht gesehen. Wenn wirklich vom Pik N. Michailowitsch ab nach Ost das ONO Streichen aufhören sollte,

[1]) Keidel, Geol. Untersuchungen im südl. Tian-Schan etc. N. Jb. f. Min., Beil. Bd. 22, S. 265—384, 1906. siehe S. 355!

kann dies nur für das Gebiet bis östlich des Musartpasses gelten und auch nur für die zentrale Zone. Denn am Musartpaß streichen die Schichten ja W-O und auch die Phyllite nahe ihrer Südgrenze haben diese Richtung. Weiter nach O aber tritt die für den zentralen Tian-Schan maßgebende Richtung ONO wieder hervor und bleibt im ganzen Chalyktau herrschend. Auch die Anordnung der einzelnen Zonen beweist dies, welche mit gleichbleibender Richtung aus dem zentralen Tian-Schan herübersetzen. Wir haben also von dem Knotenpunkt des Tian-Schan bis wenig östlich Musartpaß eine Beugung der Streichrichtung, eine Ablenkung vom Hauptstreichen, welche nach O bald wieder verschwindet und der ONO Richtung weicht.

Nun hat aber Keidel im südlichen Tian-Schan, in den südlichen Vorketten des Chalyktau zwischen dem südlichen Musarttal und Bai unzweifelhaft nach WNW streichende Gebirgszüge angetroffen, welche aus Angaraschichten und konkordant auf ihnen liegenden Gobi-(Hanhai-)Sedimenten bestehen. Die Angaraschichten transgredieren über Oberkarbon. Diese Gebirgsteile sind also im Vergleich zu den inneren und nördlichen Ketten des Chalyktau viel jünger, ihre erste Anlage ist in einer Zeit erfolgt, in welcher die inneren und nördlichen Ketten bereits lange bestanden haben. Diese WNW Züge stehen den ONO Zügen durchaus fremd gegenüber. Demgemäß zeigt sich auch in ihrer Zusammensetzung ein bedeutender Unterschied. In den alten Ketten bildet das jüngste Gestein im Zentrum und Norden Unterkarbonkalk, im Süden Oberkarbonkalk, die jungen Ketten aber beginnen erst mit den Angaragesteinen, über denen die tertiären Gobisedimente liegen.

Es ergibt sich also, daß der Chalyktau in seinen nördlichen und zentralen Ketten durchaus die Fortsetzung des zentralen Tian-Schan ist, wie schon Keidel (l. c. S. 354) betont. Die Streichrichtung der Ketten erleidet zwischen zentralem Tian-Schan und Chalyktau eine leichte Beugung, setzt sich aber dann unverändert wieder fort. NW Streichen ist im ganzen nördlichen und zentralen Chalyktau nicht zu sehen, es ist beschränkt auf die tertiären Ketten der Südseite, welche erst spät dem alten Gebirge angegliedert wurden.

Die tertiäre Gebirgsbildung hat demnach in den alten Ketten nur wenig in tangentialer Richtung gewirkt, ihre Tätigkeit beschränkte sich, wie schon erwähnt, hauptsächlich auf radiale Bewegungen. Zu diesen dürften im zentralen Teile die Längsbrüche am Musartpaß und die den Dschiparlykgletscher begrenzenden parallelen Brüche gehören.

Dagegen hat die tertiäre Gebirgsbildung in dem Gebiete der Angaraschichten viel mehr in tangentialer Richtung gewirkt, indem sie die Sedimente in Falten legte. Daraus ergibt sich ein bemerkenswerter Gegensatz zwischen der alten karbonischen und der jungen tertiären Gebirgsbildung. Wir sahen im ganzen Gebiete der karbonischen Bewegungen Falten bis zum Verschwinden zurücktreten gegenüber einer starken Aufrichtung der Schichten mit vorherrschendem Südfallen. Die gleiche Erscheinung erwähnt Keidel — und hier ergibt sich wieder die nahe Beziehung zum zentralen Tian-Schan! — aus dem von ihm bearbeiteten Gebiet. Durch diese starke Zusammenpressung der Gesteine in meridionaler Richtung und das gleichzeitig erfolgende Aufsteigen von Granit und Quarzporphyr scheint nun das Gebiet eine sehr große Widerstandskraft gegenüber späteren tektonischen Bewegungen erlangt zu haben, so daß es als verhältnismäßig starre Masse den äußeren Gebieten gegenüber steht und an den späteren Bewegungen nur geringen Anteil genommen hat, der sich in radialen Brüchen kundgibt.

Zu erwägen wäre auch, ob nicht die jüngeren Bewegungen im Vergleich zu den karbonischen auf eine verhältnismäßig dünne, oberflächliche Schicht der Erdkruste beschränkt blieben. Das Fehlen von gleichzeitiger magmatischer Intrusion bei diesen Vorgängen scheint für diese Annahme zu sprechen.

Zusammenfassung.

In der vorliegenden Arbeit sind die von mir im Tian-Schan gemachten Beobachtungen und die sich daraus ergebenden Schlüsse niedergelegt. Kurz zusammengefaßt, erhalten wir folgenden Entwicklungsgang:

Sedimente des älteren Paläozoikums (die heutigen Phyllite etc.) sind durch Granitintrusion (Granit des äußeren Massives) metamorphosiert. Möglicherweise stand die Intrusion in Zusammenhang mit gebirgsbildenden Bewegungen. Sicher aber wurde unser Gebiet nach der Ablagerung der altpaläozoischen Sedimente trocken gelegt und zu einem Gebirge aufgefaltet. Dies war die älteste Anlage des Tian-Schan.

Es folgt eine Periode der Abtragung, welche stellenweise den Granitkern freilegt. Nach Beginn des karbonischen Zeitalters wird das Gebirgsland vom Meer überflutet und seine Sedimente lagern transgressiv über Phylliten und Granit.

Diese Transgression muß rasch über weite Gebiete vorgedrungen sein, worauf das Fehlen von Transgressionsbildungen an der Basis der karbonischen Sedimente schließen läßt. Vielleicht wäre an einen Einbruch großer Landmassen zu denken.

Mindestens 600 m mächtige Kalke werden abgelagert, die, soweit Fossilfunde ihre stratigraphische Bestimmung erlauben, oberes Unterkarbon repräsentieren. Rasch wie die Transgression erfolgt die Regression nach Süd und das Oberkarbonmeer reicht nur bis zum Südrand des Gebirges.

In die Zeit zwischen Unter- und Oberkarbon fällt daher die zweite große Gebirgsbildung, welche nach meiner Ansicht die für unser Gebiet bedeutendste ist und dem Gebirge bis auf den heutigen Tag ihren Stempel aufgedrückt hat.

Hier sehen wir auch sichere Beweise für die Gleichzeitigkeit von Gebirgsbildung und magmatischer Intrusion (inneres Granitmassiv und Quarzporphyr der zentralen Zone). Das Granitmagma übt auf die Nebengesteine Kontaktmetamorphose aus, deren weite Ausdehnung dem zur Zeit des Aufsteigens des Magmas herrschenden gebirgsbildenden Druck zuzuschreiben ist.

Vom Ende des Unterkarbons an bleibt der Chalyktau, d. h. seine nördlichen und zentralen Teile, frei von Meeresbedeckung.

In dieser langen Kontinentalperiode scheinen nur geringe tektonische Veränderungen erfolgt zu sein. Im Perm oder im Mesozoikum erfolgten die Ergüsse von Porphyrit in den nördlichen Teilen. Im Mesozoikum entstanden auch die großen Peneplains. Im Tertiär werden diese durch radiale Bewegungen zerstückelt, im Norden erfolgt der Einbruch des Tekesbeckens.

Diese dritte Periode der Gebirgsbildung, welche im Temurlyktau und im dsungarischen Alatau die Angaraschichten in Falten legte, ist im nördlichen und zentralen Chalyktau nicht mit Sicherheit nachzuweisen, während sie in anderen Teilen des Tian-Schan durch starke tektonische Bewegungen bezeichnet ist.

Noch spätere, jungpliocäne oder pleistocäne Störungen sind im Tekesbecken kenntlich.

In geomorphologischer Hinsicht hat sich gezeigt, daß der Chalyktau keinen selbstständigen Gebirgsbogen bildet. Er ist nach Bau und Streichrichtung durchaus die östliche Fortsetzung des zentralen Tian-Schan. Die von den höchsten Erhebungen des Gebirges heranziehende zentrale Kette erfährt eine leichte Richtungsbeugung, setzt aber dann in der gleichen Richtung (ONO) fort wie vorher.

Daher zeigt auch der geologische Bau des Chalyktau keine bedeutenden Unterschiede gegenüber dem zentralen Teile des Tian-Schan, vielmehr bilden zentraler Tian-Schan und Chalyktau eine eng zusammenhängende Masse, welche anderen Teilen des Tian-Schan, besonders im Süden und Osten, fremd gegenübersteht.

Der auffallende Gegensatz zwischen älterer und jüngerer Gebirgsbildung — einerseits starke Aufrichtung der Schichten und mächtige magmatische Intrusion und Effusion, andrerseits Faltung nur der jüngeren Gesteine und Fehlen von magmatischer Tätigkeit — läßt erkennen, daß die Stärke der tektonischen Vorgänge in dem untersuchten Gebiete seit dem Ende des Paläozoikums eine beträchtliche Abnahme erfahren hat und daß das alte Gebirge als verhältnismäßig starre Masse den jüngeren Gebieten fremd gegenübersteht.

Anmerkung. Erst nach Abschluß meiner Arbeit gelangte der zweite Band von „Muschketow, Turkestan“ in meine Hände, so daß die in dem Werke enthaltenen Tagebuch-Aufzeichnungen Muschketows bei dieser Arbeit keine Berücksichtigung finden konnten.

Bemerkungen zur Übersichtskarte Tafel 1.

Es stellte sich schon während unserer Reise und noch mehr bei der Ausarbeitung der auf der Expedition gemachten Routenaufnahmeu heraus, daß die vorhandenen Karten in vielen wesentlichen Punkten falsch und ungenügend sind. Die Fertigstellung der von Prof. Merzbacher geplanten topographischen Karte der bereisten Gegenden wird sich jedoch noch einige Zeit hinausziehen, so daß ich diese neue Karte meinen geologischen Einzeichnungen nicht zu Grunde legen konnte.

Ich beschränkte mich deshalb darauf, die Ergebnisse unserer Routenaufnahmen in ihren Hauptzügen zusammenzustellen und die im Maßstab 1 : 100.000 gemachten Aufnahmen auf den vorliegenden Maßstab reduzieren zu lassen. Demgemäß sind nur die begangenen Täler und die größten Gletscher auf der Karte eingezeichnet. Auch von der Angabe von Höhen wurde Abstand genommen, da die Ausrechnung der Messungen noch nicht vollendet ist. Ich möchte daher hier einige Angaben über die Höhenverhältnisse machen.

Die Tekesebene im NW der Karte hat in ihrem westlichen Teile am großen Musart etwa 1800 m und senkt sich nach NO allmählich herab bis zu 1500 m am Koksu. Der Attuintau, der isoliert aus der Ebene aufragt, dürfte sich 600—800 m über sie erheben.

Die zentrale Zone des Chalyktau erreicht zu beiden Seiten des Musartpasses (ca. 3500 m) in ihren Gipfeln Höhen von 6200—6400 m. Diese Berge gehören somit zu den höchsten des Tian-Schan und werden nur von dem Khan-Tengri (7200 m) übertroffen. Ähnliche Höhen wie in der Musartgegend erreicht die zentrale Zone im Chalyktau nur noch im Gebiet des Koprsaigletschers und der langen Gletscher am Ursprung des Agias. Im allgemeinen jedoch senkt sich die zentrale Zone vom Musartpaß nach Ost beträchtlich, so daß die Gipfelhöhen im Quellgebiet des Koksu nur noch 4800—5200 m betragen.

Das Gebiet zwischen Tekesebene und zentraler Zone vermittelt zwischen beiden Extremen. Das Gebirge beginnt im N etwa mit 2000—1800 m und steigt, je weiter wir nach S kommen, desto mehr an. Die Gipfel der Phyllitzone haben Höhen von 4000—4500 m im Musart- und Agiasgebiet, nach O sinkt ihre Höhe entsprechend der Erniedrigung der zentralen Zone und beträgt im Koksugebiet 3000—3500 m.

Erklärung der Abbildungen Tafel 3—8.

Tafel 3.

Fig. 1. Talkytal im dsungarischen Alatau. Blick talauf aus dem Granitgebiet auf die hellen Kalkberge im Hintergrund. Aufnahme Merzbacher.

„ 2. Becken des Sairamnor. Die südliche Begrenzung des Beckens bilden die unterkarbonischen Kalkberge des dsungarischen Alatau. Aufnahme Merzbacher.

„ 3. Rechtes Seitental des Dschidschentales im Temurlyktau. Blick auf die 500 m mächtigen unterkarbonischen Kalke, welche links fast horizontal liegen, rechts eine Synklinale mit steilstehenden Flügeln bilden. Aufnahme Merzbacher.

„ 4. Wollsäcke des Granites am Satl-Kasanpaß im westlichen Temurlyktau. Aufnahme Leuchs.

Tafel 4.

Fig. 1. Blick von der Terrasse des alten Tekessees auf die Destruktionsfläche am Nordrand des Chalyktau. Der Koksufluß ist tief in die Peneplain eingeschnitten. Im Hintergrund rechts die granitische Kurdaikette. Aufnahme Leuchs.

„ 2. Altes Seebecken des Koksu mit verschiedenen Terrassen aus Seeablagerungen. Aufnahme Leuchs.

„ 3. Südrand dieses Beckens, Ende der Kalkhochfläche und Beginn der Granitzone. Aufnahme Leuchs.

„ 4. Grenze zwischen Kalkhochfläche und Granitzone im Kurdaital. Die Kalke endigen an einer W-O Verwerfung, die auf dem Bilde am Fuß der Steilwand entlang zieht. Auf dieser Verwerfung ist Quarzporphyr emporgedrungen, Granit steht erst weiter südlich, rechts, an. Aufnahme Leuchs.

Tafel 5.

Fig. 1. Blick von der Terrasse des alten Tekessees nach NW auf den Tekesfluß und die von ihm durchströmte Ebene, im Hintergrund der Temurlyktau. Aufnahme Leuchs.

„ 2. Abbruch der Seeterrasse zum heutigen Tekestal. Blick nach O, links der Attuintau. Aufnahme Leuchs.

„ 3. Oberes Seebecken im Quertal des Koksu. Das Becken liegt im Granit, der aber durch die jungen Ablagerungen des Koksu großenteils verdeckt ist. Aufnahme Leuchs.

„ 4. Blick vom obersten Boden des Kinsutales nach S auf die zentrale Zone des Chalyktau. Die Berge zu beiden Seiten des Talbodens bestehen aus Glimmerschiefer. Der Talboden ist breit, eben und stark sumpfig. Aufnahme Merzbacher.

Tafel 6.

Fig. 1. Quertal des Koksu: enges, steilwandiges Tal im Granit, die Weitungen sind schutterfüllt. Das Haupttal ist im Vergleich zu dem von rechts herabziehenden Seitental übertieft. Aufnahme Leuchs.

„ 2. Gefältelter Quarzphyllit im obersten Koksutal. Aufnahme Merzbacher.

„ 3. Rechtes Mustamastal (ca. 3000 m). Die Berge bestehen aus Kalksteinen des oberen Unterkarbons, hie und da sind ihnen Quarzporphyre eingelagert. Mächtige Schutthänge verhüllen die glaciale Trogform des Tales. Aufnahme Leuchs.

„ 4. Mittleres Saksanteketal (ca. 2600 m). Steile, ca. 800 m hohe Wände aus weißem Marmor bilden beide Talseiten. Die Schichten stehen steil, erst weiter talauf legen sie sich flacher. Aufnahme Merzbacher.

Tafel 7.

Fig. 1. Blick vom Syrt Karabulak nach S auf einen Teil der Hochfläche und die hinter ihr aufsteigende Kurdaikette. Die von dieser herabziehenden Täler entstehen in Karen und sind mit alten Moränen erfüllt. Aufnahme Merzbacher.

„ 2. Der Karagaitasch im oberen Koksugebiet. Der ganze Berg besteht aus grobklastischen Hanhaischichten, welche zu bizarren Formen verwittert sind. Aufnahme Leuchs.

„ 3. Ein anderes Bild aus dem Hanhaibezirk am oberen Koksu. Die Schichten sind von geringerer und gleichmäßigerer Korngröße und bilden deshalb langgestreckte, einförmige Rücken. Im Hintergrund die Kurdaikette. Aufnahme Leuchs.

Tafel 8.

Fig. 1. Quertal des Agias bei der Mündung des Kongrbulak. Die Berge bestehen aus Phylliten mit eingelagerten basischen Eruptivgesteinen, das Tal ist hoch hinauf mit fluvioglacialen Ablagerungen erfüllt, in welche der Agias sein Bett eingeschnitten hat. Aufnahme Leuchs.

„ 2. Gebiet des Koprsaigletschers. Im Vordergrund Phyllite, die stark vereisten Berge (6000—6500 m) im Hintergrund bestehen aus unterkarbonischem Kalk und Marmor, zwischen Phyllit und Kalk liegt Quarzporphyr in einer 10 km breiten Zone, welche vom Phyllit durch einen schmalen Kalkzug getrennt ist. Aufnahme Merzbacher.

„ 3. Mittleres großes Musarttal. Auf beiden Seiten steht Granit an, im Hintergrund bilden die hohen Kalkberge der zentralen Zone scheinbar den Talschluß. Aufnahme Merzbacher.

„ 4. Vom Dondukolpaß (3700 m) nach Ost. Die über 6000 m hohen Berge der zentralen Zone, rechts, bestehen aus unterkarbonischem Kalk. An ihrem Fuß verläuft das Längstal des großen Musart, das die Grenze zwischen Kalk- und Phyllitzone bildet. Die Grenze zieht weiter nach Ost über den großen Kai-Jailakgletscher. Die Berge der Phyllitzone sind 1000—1500 m niedriger. Aufnahme Kostner.

Inhaltsverzeichnis.




8
3
g₂ Kette
h
p
Kinsu
p
h
43
n. Br.
Saksaniebe
Austamas
k
80°
ö. Gr
82



Geologische Übersichtskarte des nördlichen Chalyk-Tau entworfen nach den Aufnahmen im Jahre 1907 von KURT LEUCHS.

Tafel 1.

- Granit des äusseren Massives
- g2 Granit des inneren Massives
- Quarzporphyr
- Melaphyr, Basalt
- p Phyllite, kristalline Schiefer, basische Eruptiva
- Kalke der Phyllitzone
- k unterkarbonischer Kalk der centralen Kette
- unterkarb. Kalk d. äuss. Ketten, zusam. mit Porphyrit
- h jungtertiäre u. pleistocäne Bildungen alter Seebecken.

beobachtete vermutete Formationsgrenzen

Grenze der Seeablagerungen im ob. Koksugebiet

81 ö. L. v. Gr. — 82 — 83

Kp Attuin-tau Kp h alte Seeterrasse h Karabulak g2 kp Kurdai Kurdai - g2 Kette h p Kirsu p Kuslamas Saksanteke k Tschagansu p g2 h Koksu Tekes h Kp Kp g2 g1 gr. Musart Dondukol p g2 Agias Koprsai Khaptsu p p p k q q q k k k k k südl. Musart centrale Zone 43

Masstab 1:500000

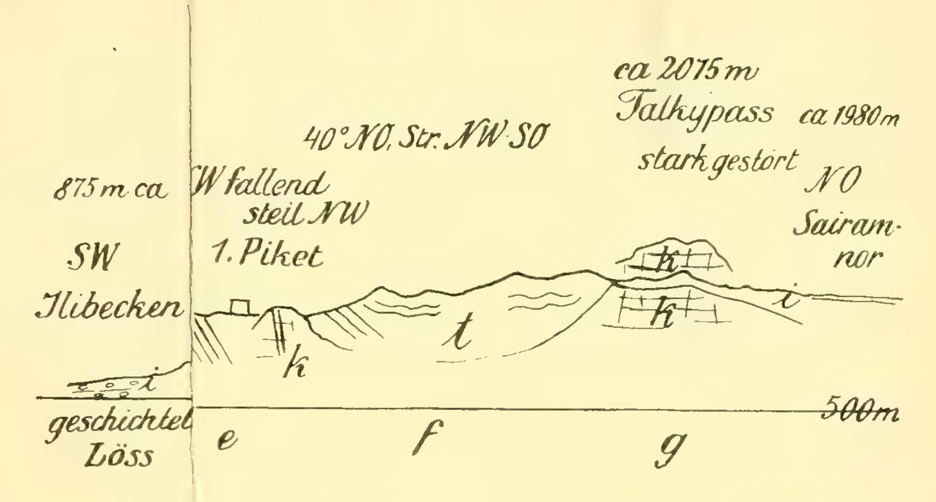
0 1 2 3 4 5 10 20 30 km

80° ö. Gr. 82° dsungarischer Alatau Sairam nor Talkypass Jlibecken 44° Kuldscha Jli Kasch Kunges Süd Nasarpass Temurlyk Tekes Tekesbecken Koksu gr. Yuldus Agias Musart Musartpass centraler Tianschan Chalyktau 42° n. Br.

Grenzen des auf Tafel 1 dargestellten Gebietes

Kartenskizze 1: 3000000





Im Text | breccie; d Tonschiefer; e Diorit, Camptonit; f Kieselschiefer,

Maßstab 1 : 85,000.

|n des Ilibeckens und Sairam-nors.

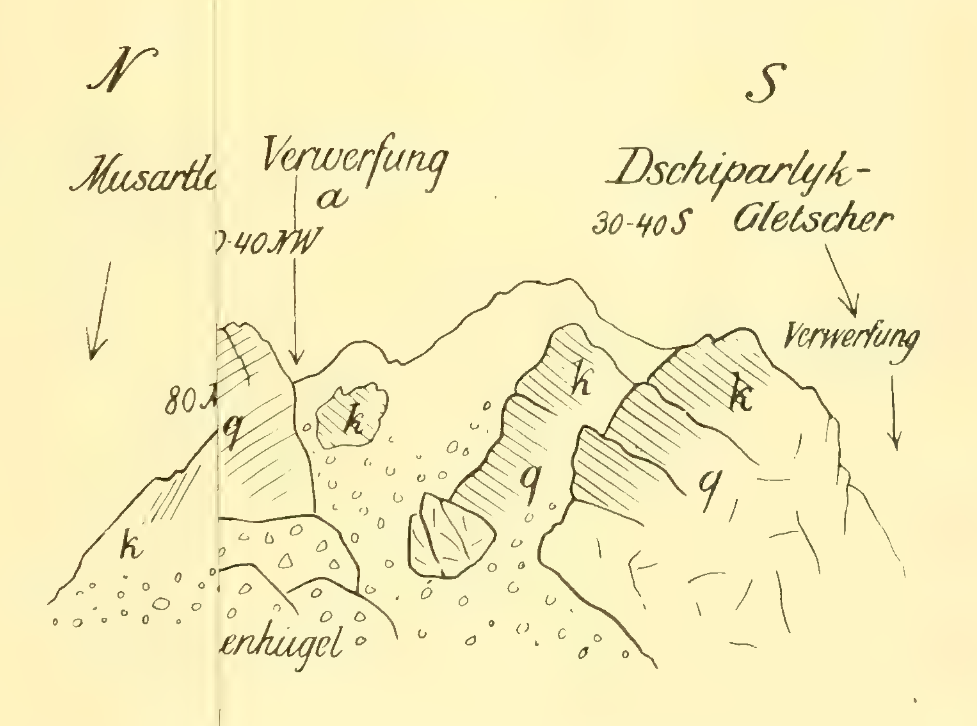
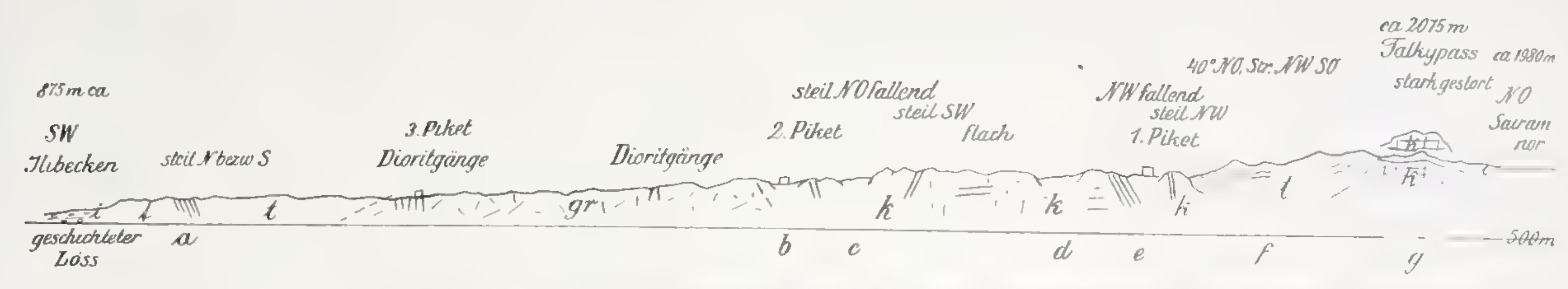


Fig. | ngen der Lagerung. Länge des Profils 8 km.

1 : 25000.





Im Text besonders erwähnte Punkte a Quarzit, Diorit, Porphyrit, b Kalkmergel mit Quarz, Kieselschiefer, Sandstein mit Kalkmergel, c Kalk und Porphyritbreccie, d Tonschiefer e Diorit, Camptonit, f Kieselschiefer = breccien, Tonschiefer; g junge Konglomerate.

Fig. 1. **Profil vom Ilibecken durch das Talkytal zum Sairam-nor (Dsungarischer Alatau).** Maßstab 1 85,000

gr = Granit, präkarbonisch. k = Kalkstein (Unterkarbon?) t = Ton- und Kieselschiefer (Angaraschichten). i = Junge Bildungen des Ilibeckens und Sairam-nors

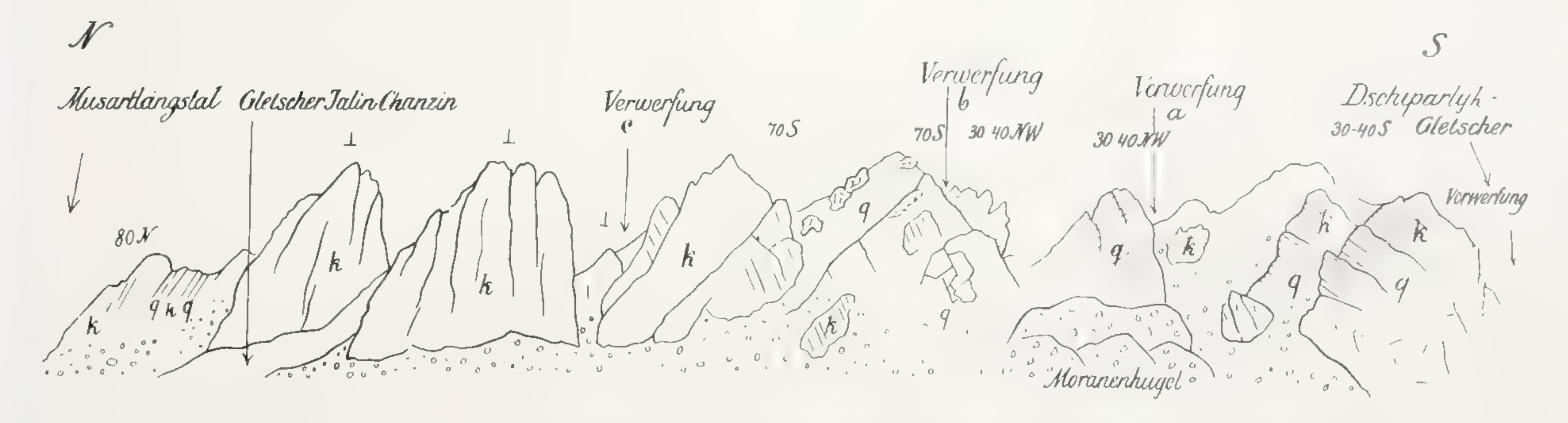


Fig. 2 **Ostseite des Musartpaß-Defilées.** Zeigt die zwischen die Kalkmassen eingedrungenen Quarzporphyre und die Störungen der Lagerung. Länge des Profils 8 km

k = unterkarbonischer Kalk, meist in Marmor umgewandelt; q = Quarzporphyr. — Maßstab 1 : 25000.



Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.





Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.





Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.





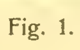


Fig. 1.

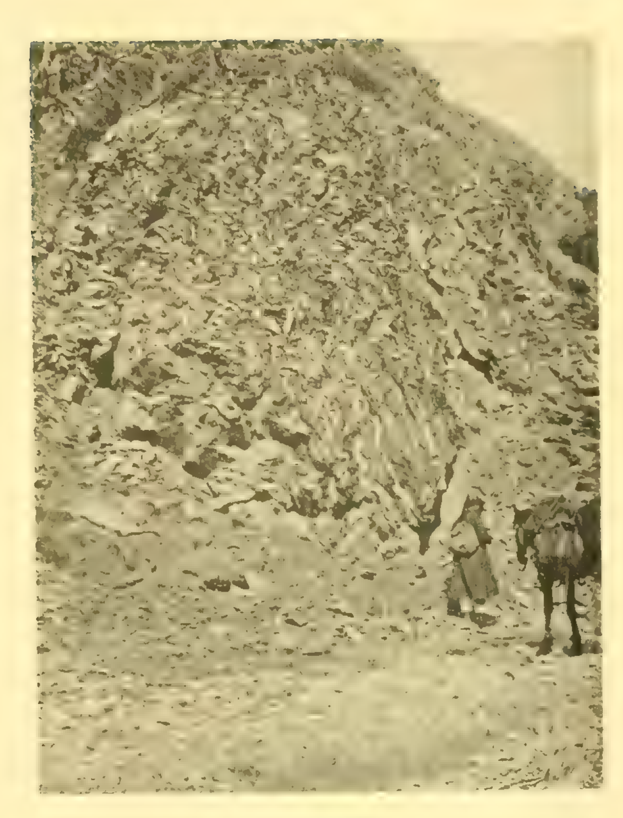


Fig. 2.



Fig. 3.



Fig. 4.





Fig. 1.



Fig. 2.



Fig. 3.





Fig. 2.



Fig. 1.



Fig. 3.



Fig. 4.



Zur Abhandlung von W. v. Dyck (Bd. XXV, Abh. 9) „Das Glaubensbekenntnis von Johannes Kepler vom Jahre 1623".

Durch ein Versehen bei der Zusammenstellung des Manuskripts ist auf Seite 6 der Schlußsatz der Anmerkung weggeblieben. Es ist hier anzufügen:

Man sehe hiezu weiter die in neuerer Zeit erschienenen Werke von L. Schuster: „J. Kepler und zwei Weltfragen seiner Zeit" — Graz 1887 und „J. Kepler und die großen kirchlichen Streitfragen seiner Zeit" — Graz 1888; ferner L. Günther: „Kepler und die Theologie" — Gießen 1905.



Abhandlungen
der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
XXV. Band, 9. Abhandlung

Das Glaubensbekenntnis von Johannes Kepler vom Jahre 1623

nach dem auf der Bibliothek des Prediger-Seminars in Wittenberg wiederaufgefundenen Original

herausgegeben

von

Walther von Dyck

Vorgelegt am 6. Mai 1911

München 1912
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



In den chronologischen Aufzeichnungen von Johannes Kepler, die der Herausgeber der Gesamtwerke, Ch. Frisch im achten Bande in der vita Joannis Kepleri zusammengestellt hat, finden sich für das Jahr 1623 die Worte verzeichnet „Edita confessio“[1]).

Von diesem „Glaubensbekenntnis“ ist im Briefwechsel Keplers an mehreren Stellen die Rede; aus ihrem Zusammenhang konnte man schließen, daß es sich hierbei um eine Rechtfertigungsschrift Keplers gegenüber den Vorwürfen und Anschuldigungen, die man von theologischer Seite gegen seine Rechtgläubigkeit erhob, handelt. Die erste Stelle, in welcher das Glaubensbekenntnis erwähnt wird, ist ein Brief des Tübinger Rechtsgelehrten Christoph Besold. Auf eine Anfrage, die Kepler an diesen zu Anfang des Jahres 1623 bezüglich der Veröffentlichung seiner Schrift gerichtet hatte, antwortet Besold am 3./12. April[2]):

„Nobilis et amplissime vir, fautor et adfinis colende, gratissimae fuerunt mihi literae tuae, quibus intenti tui de edendo scripto Theologico certiorem me fecisti: sed cum petas judicium meum: libere id pronunciabo. Nempe malle me, ut in herba partus ille opprimatur: vereor enim, ut futurus sit monstrosus, id est neutri parti placiturus. Ego acquiesco plane in piorum et priscorum Patrum traditione, et interpretatione, quorum negligentiam sequi malo, quam obscuram diligentiam novatorum. Sed optimum puto, quiescere, silere et eventum committere DEO. Putavi, turbas nostras hic suppressas esse, mirorque, iterum ad vos a nostratibus literas exaratas turbarum novarum concitatrices. Velim autem ut sobrie satis Theologica. Tractent illi quos scis, et quos illae literae tangunt. Graviter hic pugnatur contra Mentzerum, libris editis crassis, nec levidensibus. . . . .

M. M. Maestlinus ad scribendum adigi nequit.“

Um die Drucklegung der Schrift, die Kepler ohne Namensnennung herausgegeben wissen wollte, hat Kepler den Straßburger Professor Matthias

---

[1]) Joannis Kepleri astronomi Opera omnia. Ed. D. Ch. Frisch. Vol. VIII, Pars 2, pag. 883.

[2]) Joannis Keppleri aliorumque epistolae mutuae. Ed. M. G. Hanschius. Lipsiae 1722. Epist. CLXX, pag. 280. — Opera omnia, vol. VIII, 2, pag. 884.

Bernegger gebeten, der eben damals seine „Tuba pacis“ [1]) herausgegeben hatte. Kepler schreibt am 21. August 1623 an Bernegger [2]):

„. . . Interim mitto legendas has chartas, et si potes clam citra incommodum imprimendas meis sumtibus, sic tamen, ut exemplaria non ultra 100, non relicto ullo impressionis vestigio. Si tu veneris operam palam praestare, da negotium tabellario, quid agere debeat, ut bene haec curentur, et tamen ipse nesciat, quae sit materia, et ut portet ipse exemplaria Ulmam usque. Quodsi non omnia poterit portare, tu fidus esto custos reliquorum. Quodsi non imprimetur haec „Apologia“ nec potest imprimi, remitte illam, quia exemplo careo; pecuniam vero ad D. Lansium vel D. Chr. Besoldum Tubingam. Vale.“

Bernegger hat diesen Auftrag mit Sorgfalt ausgeführt, wie aus der Antwort Keplers, von Linz, 4. Dezember datiert, hervorgeht:

„S. P. D. Clarissime vir, amicorum ocelle. Paterisne ut cum plebecula Judaeorum exclamem, omnia bene fecit et surdos debitores fecit audire petitionem creditoris et mutas chartas manuscriptas loqui publicis literis. Ad amussim omnia, tantum in 6 tuis exemplaribus ista muta: folio 1. Irrdischen non Jüdischen; alibi: Außlesung so vieler Bücher, non Außlegung. Quid faciam contra? Perpetuone tibi gravis et in officiis mutuis sterilis animo angar?“. . . [2])

Diese anonym erschienene Schrift war seither verschollen. Ch. Frisch bemerkt in seiner Vita Joannis Kepleri „Quale fuerit hoc scriptum nescimus, neque alii, harum rerum periti, nos edocere potuerunt. Ex correcturis, quas Keplerus supra profert, et voce „Confessio“ in revol. anni et ex literis Besoldi concludere licet, repetiisse Keplerum in hoc scripto litem de sacra coena cum theologis Württembergicis.“ [2])

Gelegentlich einer Anfrage, die ich im März des vorigen Jahres an das Prediger-Seminar in Wittenberg wegen der dort etwa vorhandenen Druckschriften von Kepler richtete, hat sich nun dieses Glaubensbekenntnis gefunden, dessen Veröffentlichung der Direktor des Seminars, Herr Lic. D. Dunkmann mir in dankenswertester Weise gestattet hat.

Es lag nahe, in Wittenberg noch Schriften von Kepler zu suchen, weil die Bibliotheksbestände der berühmten Universität, soweit sie sich auf Theologie und Philosophie beziehen, nicht an die Universität Halle übergegangen sind, sondern an das Prediger-Seminar in Wittenberg. Hier fand sich nun in einem älteren Sammelbande die Schrift:

---

[1]) Vgl. „Matthias Bernegger“. Ein Lebensbild aus dem geistigen Leben Straßburgs zur Zeit des dreißigjährigen Krieges von C. Bünger. Straßburg, Trübner 1893.

[2]) Opera omnia, vol. VIII, 2, pag. 884; erstmals veröffentlicht in den „Epistolae J. Kepleri et M. Berneggeri mutuae. Argentorati, 1672.“

„N. N. Glaubensbekandtnus und Ableinung allerhand desthalben entstandener ungütlichen Nachreden“.

Gedruckt Jm Jahr M. DC. XXIII.

Auf dem Titelblatt, das auf Seite 11 getreu dem Original entsprechend wiedergegeben ist, findet sich mit der Feder neben N. N. eingetragen

„Keplers vid. lit. D.“

und zwar rührt diese handschriftliche Notiz vermutlich von einem Bibliothekar des 18. Jahrhunderts her, der auch das Register des Sammelbandes, welcher eine größere Zahl theologischer Streitschriften des 16. und 17. Jahrhunderts enthält, sorgsam zusammengestellt hat.

Der Hinweis bezieht sich auf eine Stelle des Textes (vergleiche im folgenden Texte Seite 31, Zeile 6), in welcher Kepler sich selbst erwähnt: „Ich glaub was D. Luther/und ich Kepler was M. Ant. de Dominis glaubet“.

Es läßt aber auch der weitere Text, in welchem auf Keplers Publikationen Bezug genommen wird, keinen Zweifel, daß es sich um eine Schrift Keplers handelt. Man vergleiche Seite 23 u. ff. des nachfolgenden Textes.

Weiter aber läßt sich auch sofort nachweisen, daß dieses „Glaubensbekandtnus“ gerade die in dem oben wiedergegebenen Briefwechsel erwähnte Schrift ist:

Es findet sich nämlich auf Seite A_3 (Seite 15, Zeile 5 v. o.) eben jener von Kepler erwähnte Druckfehler „Jüdischen“ statt „Jrrdischen“ vor. Er ist im Wittenberger Exemplar mit einer jetzt sehr stark vergilbten Tinte korrigiert — man ist versucht, zu vermuten von Bernegger oder von Kepler selbst.

Im Folgenden bringe ich die Schrift in derselben Weise zum Abdruck wie die in Bd. XXV dieser Abhandlungen veröffentlichten, von mir kürzlich wieder aufgefundenen beiden Prognostika Keplers von 1604 und 1624.[1])

Das „Glaubensbekandtnus“ ist in der Tat, wie Frisch es vermutet hat, eine abschließende Rechtfertigungsschrift in dem bekannten Streite, den Kepler durch lange Jahre hindurch den Theologen der Tübinger Universität und dem Württembergischen Konsistorium gegenüber ausgefochten. Wir müssen, um die Schrift in ihrem Zusammenhange übersehen zu können, in Kürze auf die Geschichte dieses Streites eingehen.

[1]) Auch hier erscheint nur das Titelblatt in getreuer Wiedergabe des Originals, während der Text an Stelle der Schwabacher Lettern des Originals in Antiqua, die Antiqua dort in Kursivschrift wiedergegeben ist. Die Orthographie ist genau beibehalten, die Seitenzahlen des Originals sind auf dem Rande angemerkt.

Schon zur Zeit seiner theologischen Universitätsstudien in Tübingen war Kepler wegen seiner freieren Auffassung der Lehre von der Allgegenwart des Leibes Christi in den Verdacht des heimlichen Calvinismus gekommen. Seine damaligen Anschauungen sind in einem lateinischen Gedicht „de sacra coena", sowie in einer im Bruchstück uns erhaltenen Disputation wiedergegeben.[1])

In voller Offenheit hat dann Kepler seine Stellung dargelegt in jenem schönen freimütigen Brief, den er zu Anfang des Jahres 1609 an den Herzog Johann Friedrich zu Württemberg und Teckh gerichtet hat. Kepler hatte schon von Graz aus, um den Verfolgungen der 1598 durch Erzherzog Ferdinand von Österreich in Steiermark eingeleiteten Gegenreformation zu entgehen, wieder nach Württemberg und nach Tübingen zu kommen getrachtet, leider vergeblich. Als dann seine Stellung als Hofastronom des Kaisers in Prag in den Wirren des Bruderkampfes zwischen Kaiser Rudolph und Matthias immer unsicherer wurde, wandte er sich aufs neue nach Württemberg, „da mir", so schreibt er an Herzog Johann Friedrich, „nichts erwünschteres, Hailsamlicheres vnd rhumlichers wäre, dan das Jch dermahlains meinen geringen profectum zu dienst meinem Vatterland dankbarlich anwenden khönnte." Aber er bittet dabei, von der Forderung der bedingungslosen Unterwerfung unter die Concordienformel dispensiert zu werden.

„Als hab Jch bey meiner person mir einmahl, vnd zwar gewissenshalben fürgenommen, der formulae Concordiae nit anderst als conditionaliter, de non oppugnanda, vnd cum exceptione tractandae Pacis, nochmahlen zu vnderschreiben. Jn sonderlichem Bedenkhen, das Jch auch sonsten von Jugend auff in articulo de Coena nie befinden khönden, das einer der Calvinischen mainung beygethan, von diser vngleichen meinung wegen nit solte vnser Bruder in Christo genennet oder gehalten werden, wan er auch gleich ein Lehrer wär."

„Doch gedenkh Jch mich inmittels, wie bißhero, also auch füro vnserer Confession Verwanten Kirchen Khains wegs zueüssern, sondern mit denen zu communicirn, so lang Sie mich bey jetzerwehnter protestation pleiben lassen, vnd mich nit selber von Jrer communion ausschließen."

[1]) Fragmentum in codicibus Vienniensibus. J. Kepleri, Opera omnia, vol. VIII, 2, pag. 713 ff. Eine eingehende Würdigung von Keplers religiösen und theologischen Anschauungen findet sich in den „Beiträgen zur Philosophie und Geschichte der Religion und Sittenlehre" von C. F. Stäudlin, Lübeck 1797, Bd. I in dem Aufsatz VII „Über Johann Kepplers Theologie und Religion und das Schicksal seiner astronomischen Entdeckungen bei seinen theologischen Zeitgenossen", einer erweiterten Neuausgabe eines Göttinger Programms vom Jahre 1793 „De Johannis Keppleri theologia et religione".

„Da nun E. F. Gn. mit einer sollichen conditionirten subscription zufriden zusein, vnd eine besagter maassen zum Kirchenfriden genaigte person bey dero Vniversitet, oder in andern politischen geschäfften zugebrauchen willens wären, will Jch mich nochmahlen, wie hievor zu vnderthäniger einstellung, je eher je besser, gehorsamlich anerbotten haben. . . .“ [1])

Gegen dieses Ansuchen, das Kepler im März 1611 erneuerte, machte aber das Konsistorium in Stuttgart sein „vnderthenig Bedencken“ geltend:

„Ob er nun wol an jezo seine gehorsame Dienst vnderthenig anbietten thutt, auch von Herrn Obern Rhätten dahin geschlossen worden, Jhme vff die profession Matheseos bey der Vniversität Tübingen eine Expectantz zumachen were: Jedoch weiln er in ybergebener seiner andern Supplication sich rund vernemmen lassen, da er mit Diensten gnedig bedacht, der formulae concordiae nit anderst, alss conditionaliter, de non oppugnanda vnd cum exceptione tractandae pacis zuvnderschreiben, in sonderlichem bedencken, daß er auch sonnsten von Jugendt auff in articulo de coena nie befinden können, daß einer, der Calvinischer meinung beygethun, von diser vngleichen meinung wegen nit sollte vnnser Bruder in Christo genennet oder gehalten werden: auss welcher erclärung leichtlich abzunemmen, daß er ein verschlagener Calvinist seyn muoss, vnd da er zu einer profession verordnet, nit allein solch Calvinische gifft der Jugendt nach vnd nach eingiessen, sonder andere mehr er in consequentiam ziehen, vndt ebener massen zu subscribirn sich vnderstehen, auch bey der Vniversität, weiln er in philosophia ein opinionist, vil Unrueh erwecken möchte: auss solchen hochbewegenden Vrsachen, sonderlich aber auch, weiln die statuta vnd nova ordinatio Vniversitatis dess clarlichen Inhalts, daß gemeiner Vniversitet die electio professoris (der reiner Augspurgischer confession seyn, vnd formulae Concordiae categorice subscribirn solte), aber die confirmatio desselben Jhrer F. Gn. zugehörig, können Subsignirte keines wegs für rhattsam erachten, daß Jhme Kepplern mit obangedeutter Expectanz zuwillfahren, sondern abzuweisen were. . . .“ [2])

Dann folgt im Jahre 1612, unmittelbar nachdem Kepler das Lehramt am Gymnasium in Linz übernommen hatte, die Ausschließung vom Abendmahl durch Pastor Daniel Hizler. Hierüber findet sich in Fischlins

---

[1]) Brief Keplers „An den Durchleuchtigen Hochgebornen Fürsten vnd Herrn, Herrn Johan Friderichen, Hörtzogen zu Würtemberg vnd Teckh etc. Graven zu Mümpelgart etc.“ Opera omnia, vol. VIII, 2, pag. 784—786.

[2]) „Vnderthenig Bedencken, der Röm. Kay. Mtt. Mathematicum Johann Keppler betreffend“ (Actum Stuttgarten 25. Aprilis anno 1611). Opera omnia, vol. VIII, 2, pag. 803, 804.

Memoria Theologorum Wirtembergensium[1]) in der Biographie von Hizler die Stelle:

„Hizlerus . . . nec minus Jacobum [!] Kepplerum celebrem Mathematicum in aula Caesarea sensit adversarium. Cum enim ille Vir perpetuis scrupulis doctrinam Lutheranam de omnipraesentia Carnis Christi verbo unitae lancinaret, nihilo minus vero Linzii S. Coena usurus Hizlerum accederet; Hic autem suspectarum ejus opinionum adhuc ex Academicis studiis gnarus eum nollet admittere, Kepplerus ea de re literas ad Jllustre Consistorium dedit, Hizlerum accusans. Enim vero Consistorium cordate rescripsit, hominem ut scrupulis et subtilitatibus, quas vocabat, nuncium mitteret, graviter admonens et Hizleri factum confirmans: test. Actis Consist. cum Kepplero."

Das Schreiben Keplers an das Stuttgarter Konsistorium vom 10./20. August 1612 scheint verloren zu sein. Dagegen ist der Text der Antwort vom 25. September 1612 in Fischlins Supplementa ad memoriam theologorum Wirtembergensium[2]) vollständig veröffentlicht.

Da Kepler sich dem Urteil des Konsistoriums nicht unterwarf, verblieb es bei der Weigerung der Zulassung zum Abendmahl.

Als dann Kepler wegen des gegen seine Mutter angestrengten Hexenprozesses im Oktober 1617 nach Tübingen zog, trat er nochmals mit den Tübinger Theologen in Verhandlung über seinen Streit mit Hizler ein. Mehrere Briefe, die er daraufhin mit seinem früheren Lehrer und Freund Matthias Hafenreffer gewechselt, sind uns erhalten, wie er denn schon im Jahre 1610 sich in einem Briefe an M. Hafenreffer über seine religiösen Bedenken ausgesprochen.[3])

---

[1]) L. M. Fischlinus, „Memoria Theologorum Wirtembergensium reuscitata. Pars II, Ulmae MDCCIX, pag. 79. Abgedruckt in J. Kepleri, Opera omnia, vol. VIII, 2, pag. 807.

[2]) „Responsum Consistorii dem Edlen, Ehrenfesten und Hochgeehrten Herrn Johann Keppler der Röm. Kais. Majestät und einer ehrsamen Landschaft in Oestreich ob der Ens Mathematico" Ad Memoriam Theologorum Wirtembergensium Supplementa, Ulmae 1710, ad Part. II, pag. 342 ff. — In „Johann Kepplers Leben und Wirken nach neuerlich aufgefundenen Manuskripten bearbeitet von J. L. C. Freiherr v. Breitschwert" (Stuttgart 1831) ist diese Entscheidung des Konsistoriums als Beilage 3 wieder abgedruckt. In vol. VIII, 2, pag. 869 der Opera omnia findet sich ein Auszug davon.

[3]) Die auf der Tübinger Bibliothek aufbewahrten Briefe sind in Band VIII, 2 der Opera omnia zum Abdruck gebracht, und zwar der im Jahre 1610 von Kepler an Hafenreffer gerichtete Brief, der erstmals in den eben erwähnten Supplementa ad memoriam Theologorum Wirtembergensium (pag. 336 ff.) erschien, auf pag. 792; die weiteren auf pag. 854 ff. Frühere Briefe von Matthias Hafenreffer an Kepler, aus den Jahren 1596—98, die sich auf die durch das „Mysterium cosmographicum" hervorgerufenen theologischen Fragen beziehen, sind in Band I der Opera omnia zusammengestellt. Sie sind erstmals in den von Hanschius 1718 herausgegebenen „Joannis Keppleri aliorumque epistolae mutuae" veröffentlicht. Die mit großer Sorgfalt von dem Herausgeber der Gesamtwerke Ch. Frisch vorgenommene Einordnung des Briefwechsels von Kepler in den sachlichen Zusammenhang der einzelnen Schriften und in die aus

„Et quia jam anni sunt septem integri“ — schreibt Kepler, noch immer in der Hoffnung, die Dispens von der bedingungslosen Unterwerfung unter die Concordienformel zu erlangen, in einem letzten Briefe an Hafenreffer vom 11. April 1619, in welchem er seine Auffassung nochmals ausführlich klarlegt — „per quos durat haec suspensio, cum semper praetendant hujus loci ministri, se paratos esse me admittere, si a consistorio vel facultate theologica Wirtembergica hoc impetrem, nec unquam mihi categoricum responsum a quoquam theologorum fuerit datum, ex quo scirem, an finaliter exclusus sim necne (nam responsio consistorii Stuccardiani primo anno data [1612], profecta est ex mala informatione, et si quid in ea mihi crimini datum est vere, id spero hactenus emendatum esse), itaque mihi jam iterato responso vel tandem opus erit, neque mihi erit committendum, ut sim perpetuo vivum scandalum, sed occurendum erit et huic et famae plurium haeresium mediis iis, quae sunt meis conditionibus consentanea.“

„Ut autem omnis difficultas tollatur, facile potest dividi quaestio. Scio vitam meam non posse examinari in Wirtembergia [Hafenreffer macht dazu die Randbemerkung: „Vitam accusare non possum“] ubi nec accusator nec reus praesens est. Nec de hac quaestio est, sed de hoc solum, ut meae praesentis confessionis (ut sonant verba rectorum hujus ecclesiae) approbationem (an scilicet stante ea admitti possim) ab ecclesia Wirtembergica afferam. Hac obtenta postea hic quaeretur, num quid aliud sit, quod communione me arceat. Illam vero confessionem seu declarationem potius habere poterunt D. D. theologi ex hisce literis, si Rev. Dign. Tua voluerit.“

Hafenreffer legte diese Darlegung nochmals dem Stuttgarter Konsistorium vor. Die von dort am 1. Juli 1619 an die Tübinger Fakultät ergangene, von einem engherzigen gehässigen Geiste eingegebene Antwort ist bekannt; sie sei hier übergangen.[1]) In würdigere Worte kleidet Hafenreffer, welcher der Sache nach dem Bescheide von 1612 zustimmt, unter nochmaliger ruhiger Auseinandersetzung der divergierenden Auffassung die Absage an Kepler. Sein Brief, datiert von Ende Juli 1619,[1]) schließt mit den Worten:

„Perfer quaeso dolores, quos tibi medica manus fraterno ex effectu denegare non potuit, et ex ipsa interjecta mora responsionis, quanta fidelitate totum negotium pertractare voluerimus, amicam fac conjecturam.“

---

den Tagebüchern zusammengestellte Vita Johannis Kepleri dient zwar in trefflicher Weise der Texterläuterung der Schriften im einzelnen; aber man muß es andererseits beklagen, daß aus den so jeweils dargebotenen Bruchstücken kein einheitliches Bild von Kepler entstehen kann, wie es gerade auch aus einer Zusammenfassung seines Briefwechsels zu uns sprechen könnte.

[1]) Opera omnia, vol. VIII, 2, pag. 865.

Damit brechen die Erörterungen der Streitfrage ab, die Kepler dann im Jahre 1623 mit der Veröffentlichung des vorliegenden Glaubensbekenntnisses für sich abgeschlossen zu haben scheint. Eine Stelle des Textes (Seite 28, Zeile 7 v. u.) zeigt, daß ihn die Abfassung der Schrift schon vier bis fünf Jahre vorher, also um die Zeit seiner Tübinger Verhandlungen, beschäftigte.

Die „Apologie“, wie Kepler sein Bekenntnis bezeichnet hat, fesselt als das unmittelbare Zeugnis eines bedeutenden, aufrechten Mannes aus jener unseligen Zeit der Streitigkeiten der evangelischen Theologen, die dem Kampfe mit dem Papsttum gefolgt war.

„Es tut mir im hertzen wehe, schreibt Kepler, daß die drey große *factiones* die Warheit vnder sich also elendiglich zurissen haben, das ich sie stuckweise zusamen suchen muß, wa ich deren ein stuck finde. Ich hab sein aber nicht zu entgelten.“

„Ich halte mich zu allen einfältigen Christen in gemein, sie heißen wie sie wöllen, mit dem Christlichen band der Liebe. Mit meiner *Confession* ist es nicht noht, daß ich mich zu einem hauffen für sich selber halte. Dann wann ich mich zu der Heiligen Schrift halte, so gibt es sich selber, das wir allerseits rechtmessiger weiß zusamen halten, so viel mehr, so viel ein jeder sich neher zu derselben helt.“

Solche Auffassung mußte Kepler zur Weigerung führen, die Concordienformel zu unterzeichnen. Mit Festigkeit vertritt er seine in ernster Prüfung errungene Überzeugung, ungeachtet aller sich ergebenden Folgen, ebenso wie damals, als er zur Zeit der Gegenreformation in Steiermark „aus Grätz außgeschafft, fraidig und mit gutem gewissen darvon gezogen.“ Duldsamkeit aber leitet ihn, seinen Widersachern gegenüber, denen er „nichts wider ihr Gewissen zuzumuthen intendirt“, die er nur „mit tüchtigen vrsachen berichten will, das sie in diesem Stuck ihr Gewissen allzu eng spannen.“

So wird ein Jeder mit Ehrfurcht und zu innerer Erhebung die schlichten, ergreifenden Worte lesen eines Mannes, der Zeit seines Lebens um seines Glaubens und offenen Bekenntnisses willen gelitten, der in der Bedrängnis und Not seines Herzens, unter dem Eindruck des hereingebrochenen, furchtbaren Kampfes noch einmal und zu einer letzten Abwehr und Rechtfertigung von seinem Glauben Zeugnis ablegt, „vermeinend, er wolle sich der Heucheley abthun und in Gottes Sachen eine gewissenhaffte ja Teutsche Redligkeit brauchen“.

N. N. Keplers vid. ... III.

Glaubensbekandt=nus vnd Ableinung allerhand desthalben entstandener vngütlichen Nach=reden.



Gedruckt Im Jahr
M. DC. XXIII.



Es ist ein alt Teutsches Sprichwort: Fromm soll man sein, [S. 3 A2] aber nit gar zu Fromm. Wer diß kan, der kan vielleicht mehr dann ich. Ich bin ja deren keiner, der zu jederzeit Ziel vnd Maaß wuste zu treffen. Ich hab vermeint, Ich woll mich der heucheley abthun, vnd in Gottes sachen eine gewissenhaffte, ja Teutsche Redligkeit brauchen. Darüber zürnen die Geistliche mit mir, die Weltliche aber schelten mich einen Narren. War ists, ein Narr fehrt herauß: War ist es auch, ein Philosophus tauget nicht vnder die Welt, am wenigsten vnder die Geistliche. War ist auch dieses: Die Kinder der Welt seind klüger dann die Kinder deß Reichs in jhrer art. Der Narrheit, der Philosophischen vngeschicklichkeit, vnd deß Schulsacks kan ich mich nit allerdings verzeihen. Der Kindschafft deß Reichs Gottes wünsch ich mich täglich mit besserem grund zu rühmen zu haben: welches nun auß disen dreyen die schuld habe, das weiß Gott. Jm sey wie im wölle, so ist es herauß. Vnd zwar die Geistlichen schelten mich nit darumb, das ich meines hertzen grund entdecke. Das aber meines hertzen grund anderst sein soll, dann bey jhnen; das geben sie meiner Vernunff die schuld, mainen ich henge derselben zuviel nach, vnd lasse mir in glaubens sachen etwas besunders gefallen, wie ich in der *Philosophiâ* gewohnt, dessen sich die Leute vber mich zu verwundern haben sollen. Wann ich mich dann wehre, vnd beweise, das dem nicht also seye; so zürnen sie mit mir, als einem stoltzen, ehrsüchtigen, mit geschicklicheit Prangenden, eigensinnigen; werffen mich zwar nit auß der Kirchen vnd *Comunion*, wie sie sagen, lassen mich aber auff begehren auch nicht hinzu, Ich erkläre dann meines Hertzen grund anderst, mit vnderschreibung jhres *libri Symbolici*, mit diser jhres Ampts entschuldigung, Man soll das Heilige nicht für die Hunde werffen. Diß jhr zürnen deuten sie einen Eyffer vmb das angerichte Ergernuß, vnd eine notwendige fürsorg für jhre gemeinden, vnd jhren nachklang bey den Feinden. Bey dieser jhrer deuttung muß ich sie pleiben lassen, biß auff den Tag deß Herren, I. Cor. 3 vnd 4. [S. 4] Dann ich soll vnd will vnserm Ertzhirten nit in sein Richterambt greiffen.

Wie soll ich dann den sachen rahten? Vnderschreiben kan ich wol: wann ich aber meines Hertzen grund also befinde wie bißhero, so rahten sie selber nicht zur vnderschreibung; dann solche wird bey jhnen in diesem fall für einen widerruff angesehen.

Soll ichs dann also gehen vnd sincken lassen mit lauterm stillschweigen; so bin ich ein lebendiges ergernuß allen denen, die nichts vom grund der sachen wissen. Man gibt mich an für einen beidenhander, der es mit allen halte, nicht auß gewissenhafftigem Hertzen, sondern damit Ich aller partheyen gunst erhalte, es gehe heut oder morgen, wie es wölle. Man gibt mich an für einen Gottlosen verächter deß Worts Gottes vnd deß H. Abendmahls, der nicht viel darnach frage, wölle man mirs nicht reichen, so möge mans immerhin behalten, Ich reisse mich nicht darumb. Man gibt mich an für einen zweiffelenden, der seines Glaubens noch bey diesem seinem zimlichen Alter keinen rechten grund wisse. Man gibt mich an für einen vnbestendigen, der es bald mit diesem, bald mit einem andern halte, nach dem einer etwas newes vnnd seltzames auff die Bahn bringe. Diß widerfehrt mir von denen, die am meisten vmb den grund wissen. Andere, so viel weniger sie wissen, so viel mehrer vnd grösserer dieser zeit beschreiter Ketzereyen beschuldigen sie mich. Will mir also nit allein als einem Christen nicht gebüren, sondern auch sehr gefehrlich vnd an meinem wolstand schädlich sein, solche grosse Ergernussen, sampt der vnwissenden vngunst, auff mir ligen zu lassen.

Es ist offenbar auß der Welt lauff, welchen die Höhere trucken, dem haltet manicher heimlichen rucken. Wie manicher dörffte sich an mich hencken, sich selber in denen Irthumben stercken, die er auß vnwissenheit mir zulegt? Weil ich dann meinem Nechsten ein gut Exempel schuldig bin; muß ich je einen Weg ersinnen, wie ich am vnstrefflichsten darzu gelangen möge.

Zwar achte ich, nach der getrewen Warnung Sanct Pauli, daß der Teuffel sein spiel hierbey habe; vnd mir durch diese Trangsal gern ein eigne *Confession* außpressen wolte, damit sie nach meinem Namen genennet, vnd ich [S. 5 A_3] die zahl der Ketzere vermehren solte. O wie viel der fürnemisten auß allen Partheyen dieser zeit, haben mich mit diesem einwurff beschmützet, vnd verhoffet gantz einzutreiben, daß ich nemlich einen besondern Glauben habe; welchen ich mit schimpff oder ernst, spitzig oder stumpff, kurtz oder weitleuffig geantwortet, nach dem es etwa die Person, etwa der Ort, etwa die zeit, meines bedunckens würdig gewest.

Ich aber erkläre mich hiermit gegen allen vnd jeden meinen Freunden oder widerigen, Geistlichen vnd Weltlichen, das ich den grund meines Glaubens, in welchem ich Gott meinem Schöpffer in dieser Welt zu dienen, vnd entlich

ewig selig zu werden getrawe, einig vnd allein auff helle vnd klare Sprüche deß geschribenen allerseits bekanten Wortes Gottes, in jhrer *original* sprach, setze vnn bawe, vnd mirs nicht begehre nachreden zu lassen, daß ich einigen Glaubens Puncten, zuwider demselben klaren Wort Gottes, auß der vernunfft, oder auß einiges Jüdischen Rabins ansehen annehme oder verteidige. Vnnd demnach in etlichen Puncten, anlangend die Person vnsers HErren Christi, notwendiglich eine außlegung etlicher Sprüche gesucht werden muß, damit die wider einander lauffende Sprüche, nach dem Buchstaben, auff ein einhellige meinung verglichen, vnd den einreissenden Ketzereyen begegnet werden möge; als beken ich mich zu denen außlegungen, welliche durch die erste Haupt-*concilia* beschehen, in den berühmpten *Symbolis* verfasset, vnn in der H. Vätter Bücher, so sie auff einer seit wider die *Arianer, Photinianer, Samosatener,* auff der andern wider die *Eutychianer* vnn *Apollinaristen* geschriben, vielfältiglich widerholet werden.

So nun heutiges Tags einige Parthey oder *liber Symbolicus* oder *Confession* auffkommen, welliche sich nach ebenmässigen *fundamenten* richtet, so fern vnd in welchen *articulis* sie diß helt, so fern vnd in denselbigen *articulis* mag ich leiden, das ich nach dem Meister oder Namen deß Buchs genennet werde. Wie dann ich nicht in abred bin, das ich die Augspurgische *Confession,* ohne vnderscheid der vnderschiedlichen *Editionen,* alle vnd jede dieselbige hiemit gemeinet, weil sie nicht in Ja vnd Nein, sondern nur in *magis & minus differirn,* für ein solliches Buch halte. Ich verstehe aber die eigentliche *Religions* Puncten, vnd nicht die *personalia* darinnen. Dann was anlanget die Lehr, welche vor zeiten im Bapstthumb im schwang gangen sein solle, weil [S. 6] heutiges Tags man deren nit mehr allerdings gestendig, bin ich vmb die in der Augspurgischen *Confession* begriffene bezüchtigungen nicht schuldig red vnd antwort zugeben, weil ich zu derselbigen zeit nicht gelebt, auch als ein Lay auff außlegung so vieler Bücher, darauß allerley auff das Bapstthum erweiset werden möchte, nicht gebunden. Mit einem wort halte ich, daß die Christliche Lehr, vnd gnugsame anleitung zu einem Christlichen leben, darinnen nach notturfft begriffen, vnd die Mißbreuche vnd Irrthumb, so darinnen verworffen, mir zu fliehen seyen. Derowegen ich auch Gott dem HErren dancksage, das ich darunter erboren von solchen Eltern, die sich zu derselbigen bekennet, vnd biß auff den heutigen Tag mich deren *Exercitiorum Religionis,* wie die bey den *Confessions* verwandten breuchig, wa ich nur geköndet, vnd zuegelassen worden, gebraucht habe.

So fern nun das Buch *Concordiæ,* welches erst nach meiner Kindheit verfasset, vnd zum vnderschreiben meniglichen im Kirchenampt fürgelegt worden,

von denen Glaubens Articuln, welche von anfang der Christenheit biß auff diese zeit in der Römischen Kirchen geblieben, Hauptpunctlich nicht weiter abweichet, als die Augspurgische *Confession* gethan: sofern laß ich es auch passirn, vnd trüge (wann ich ein Prediger wäre) kein bedencken, auch dasselbig zu vnderschreiben. Dieweil aber in demselbigen in etlichen worten vnd folgerungen, anlangend den Articul von der Person Christi, ein vnderscheid von denen worten vnd folgerungen, deren sich die Alte Kirchenlehrer gehalten, zuverspüren ist; auß welcher newerung zwey dinge folgen, Erstlich das die Reformirte Kirchen von den Papisten vnd Calvinisten der Eutychianischen Ketzerey beschuldiget wird, welcher beschuldigung man köndte vberhaben sein, wann man bey den worten vnd folgerungen der Alten Vätter bliebe: Fürs ander, das andere Partheyen, welche sich der Alten Vätter worte vnd folgerungen behelffen, vnd die berührte Newerungen nicht nachbrauchen wöllen, hierüber meines gentzlichen haltens gantz vnverschulter weise (diesen Articul anlangend, vnd in gesetzten *Terminis*) für *Nestorianer* außgeschrihen vnd verketzert werden, zwar nicht so sehr von dem Buch *Concordiæ,* als von denen [S. 7] *Theologis*, die diesem Buch vnderschriben, vnd oben am Bret sitzen, da doch die Augspurgische *Confession* an diesem Lehrpuncten im Bapstthumb nicht das wenigste angegriffen: als trag ich der zugemutheten vnderschreibung halben billiches bedencken; damit mir nicht solliche für eine bestättigung dessen vnrechtens, dessen ich von diesem Buch vnd *scriptoribus* in meinem hertzen beredet bin, gedeutet vnd angezogen werde.

Darneben aber vnderscheide ich nicht allein zwischen der Prediger Personen vnd Ampt, sondern auch zwischen dero Ampt vnd angemasseten Amptsmängeln, daß nämlich derer etliche selber jhnen diß gesatz fürschreiben, gewisse Partheyen vmb diser vngleichheit wegen, wann sie auch gleich nur allein wäre wie an mir geschicht, also zu eusseren. Derentwegen, wie ich mich vmb eines Predigers Menschlicher fähle wegen von der Kirchen nicht absöndere: also begehre ich auch ihr gut vnd Göttliches Ampt von dieses Menschlichen anhangs wegen (weil es doch Irdene gefesse seind) nicht zu *excommunicirn,* sondern stelle es, als ein Parth, vnd nicht als ein Richter, billich Gottes vrtheil vnd ihrem gewissen heim, vnd pleib in dem begehren der *Communion,* wa ich nur hoffnung haben mag, die zu erlangen.

Auß jetz abgehörter meiner lauteren vnd runden bekandtnuß in Ja vnd Nein, ist vnschwär zu vrtheilen, was von den vngütlichen aufflagen, darmit ich beschwärt werde, zu halten sey; vnd bitt ich meniglich vmb Christlicher Lieb willen, sie wollen mich als ihr Mitglied in Christo soviel würdigen, das

sie der sachen zuvor nachdencken, ehe vnd dann sie ein würckliche, mir schädliche vngunst auff mich werffen.

Ableinung deß Verdachts, als begehr ich der Menschen gunst auff allen seiten zuerhalten, mit vergebung dr warheit. Item als wöll ich mit der *singularitet* gesehen sein.

Ich hab zwar bekennet, das ich es mit einer jeden Parthey in dem stuck halte, in welchem sie es mit der heiligen Schrifft vnd andern nachgesetzten, der heiligen Schrifft nicht zuwiderlauffenden Schrifften helt. Es ist war, das ich den Jesuitern vnd Calvinisten im Articul von der Person Christi, recht gebe, mit dieser maaß, wa diese mit jenen einstimmen, vnd beyde mit einander ja sagen, oder sich wider die bezüchtigung deß *Nestorianismi* bescheidenlich schützen. Ihre vnbrüderliche mißdeutungen deren Lehr, die dieser seits *Theologi* führen, auff das aller ergste, da sie auß Christlicher lieb wol anders köndten, will ich hiermit nicht gebillichet, aber auch diesen jhren fähl [S. 8] auß Christlicher Lieb dahin gedeutet haben, daß sie durch vnserer *Theologen* vngütliche Gegenbezüchtigungen (in diesem Articul) zu gleichmässiger feindseligkeit angereitzet werden.

Es ist war, das ich dessen in meinem Hertzen beredet bin, ich selber, wann ich noch einmahl ein Lay wäre, wolte den streit in diesem Articul (das H. Abendmahl jetzo hindan gesetzt) leichtlich hinlegen, wann auff jeder seiten nur ein einiger Mann, der deß handels seiner seit genugsamen verstand im Kopff, ein brinnende Christliche Lieb im Hertzen, sanfftmütigkeit in geberden, vnd Gott für Augen hette, auch allerdings vnpassionirt, vnd keinem andern mit Eyd verbunden wäre.

Diß ist nu der grund in meinem Hertzen, den ich *maintenire*. Daß aber die anfangs gemelte Vntugenden darzu schlagen, vnd ich etwa zuviel schwätzen möge, vnd mehr dann es nutzet, das hab ich gleich zu eingang in die schantz geschlagen; dabey aber entschuldige ich mich auffrichtig mit dem vielfaltigen anzäpffen, so meniglich wol bewust; Man gibt mir vrsach, ich kom nicht selber auffgezogen, Man locket mich herfür. Offtermahlen gefallen auch sonsten solliche vngütliche reden, darwider ich meinem Nechsten (ist der Ketzerische Samariter, nach der Lehr Christi) das Wort nach meinem gewissen zureden, mich durch Gottes gesatz verbunden achte. Da kan nu leichtlich der sachen mit vnvorsichtigkeit zuviel geschehen.

Ist aber drumb diß Christlich, das ein anderer mich hierüber anderst angeben solle, als thätte ichs von zeitlichen geniesses, von erhaltung gunstes, von künfftiger gefahr wegen? Lieber Christ, wie kanstu mir in mein Hertz sehen, das diß drinnen stecke? Warumb betrachtestu nicht viel mehr die Wort, die du von mir hörest, vnd denckest denen nach, da würdestus selber also befinden. Ja warumb greiffestu nicht vielmehr in deinen Busen, vnd bespiegelst dich, da du finden würst, daß du etwa der sachen keinen gründ-

lichen verstand habest, vnd nur etwa andern zur nachfolg eine feindseligkeit wider diesen der Jesuiter vnd Calvinisten Lehrpuncten vbest, oder darmit bey deinen bekandten vnd bey der Menige für ein guten Lutheraner angesehen sein wöllest, oder disen Lehrpunkten vnverschuld tadelst, von anderer Irr- [S. 9 B] thummer vnnd von der Lehrer vnd ihres Ordens wegen, weil sie sonsten in andern Lehrpuncten (deren ich mich nicht anneme) so auch in Weltlichen händeln, etwa nicht Seiden spinnen. Oder hastu die gab nicht, zwischen der Lehr vnd dem Lehrer, Ja zwischen einem vnd dem andern Lehrpuncten zu vnderscheiden, lieber wer hat dann dich mir zum Richter gesetzet, daß du mich, der ich mich einer *discretion* zum wenigsten befleisse, gleich eben nach deinem Kopff richten wilt?

Seind numehr 25. Jahr.

Zwar so hab ich dieser meiner geübten *discretion* vor zwaintzig Jahren zu Grätz vnd seidhero wenig genossen, bin vnangesehen dero, außgeschafft, vnd fraidig, doch mit besserm gewissen, darvon gezogen, als wann ich solche *discretion* vnderlassen hette.

Doch beken ich auch diß gern, wann die benente Papisten vnd Calvinisten auch nach *discretion* handlen wöllen, so fer ich vnder jhren gewalt geriethe, vnd sie mit mir zu schaffen bekämen, so werden sie mich genädiger halten müssen, dann einen, wellicher die gantze *formulam Concordiæ,* vnd hiermit die schwäre aufflag deß *Nestorianismi* halsstarrig bestreitet. Meinstu aber auch, lieber freund, das vmb diese wahl die stiegen einzufallen sein würde? Vnd gesetzt es wär ein grosser vortheil, lieber welches ist besser, vnn vor Gott vnn der Welt verantwortlicher: soll ich dem grossen hauffen zu gesellendienst, diesen Artickel (in dem ich obgesagter massen anstehe) helffen durchtrucken, damit ich einer gantzen völligen verfolgung mit vnd neben jhnen theilhafftig werde? Oder soll ich mit entladung meines gewissens in diesem Articul mich zuerduldung dessen, was Gott mir schicken wird, wol beraiten, vnd im vbrigen den jenigen vortheil, den ich also haben möchte, gutwillig annemen? Hieß es nicht Gott versuchen, sich anderer vnrechtens in einem Articul, dessen ich beredet, theilhafftig machen, vnd mutwillig mit jhnen in einerley gefahr gehen? S. Petrus lehret mich, das ich nicht leiden solle wie ein Vbelthäter, Ich achte, auch nicht wie ein αὐτοκατάκριτος, der sich selbs dessen zum theil zu beschuldigen habe, darumb er leidet. Vnd diß sey gesagt von solchem fall, wann etwas allein von dieses Religionpunctens willen *in specie,* zu leiden sein wolte: Nicht das ich diesen eintzigen Articul, als böß, an die hand nem, darmit einen Schein suchen, vnd drunder gar zum gegen- [S. 10] theil tretten, meinem gewissen in allen vbrigen Articuln einen Truck geben wolte, wie jhrer etliche wol thuen, dafür mich Gott behütte.

Es ist zwar wol ein ergerliche vnd bey dem gemeinen vnberichten Mann ein sehr kitzelige Aufflag, das jemand so verwegen, stoltz vnd auffgeblasen sein solle, vnd es mit keiner Parthey halten wölle. Aber ich bezeug es mit Gott, das ich mich dessen nicht frewe, noch auch mir drinnen wolgefalle, oder gern gesehen werde, als einer der etwas sonders habe. Es thut mir im hertzen wehe, daß die drey grosse *factiones* die Warheit vnder sich also elendiglich zurissen haben, das ich sie stucksweise zusamen suchen muß, wa ich deren ein stuck finde. Ich hab sein aber nicht zu entgelten. Viel mehr befleiß ich mich, die Partheyen zu *conciliiren,* wa ich es mit der Warheit kan, damit ich es doch ja mit ihrer vielen halten könde. Daher es auch kompt, das andere mich für einen spotvogel halten, wann ich zum widerspil sag, Ich halte es meistentheils mit zweyen Partheyen, wider die dritte. Sihe mir gefallen entweder alle drey Partheyen, oder doch zwo gegen der dritten, in hoffnung der einträchtigkeit: Meiner widersacher aber gefallet jedem nur ein einige Parthey, in einbildung einer ewigen vnversöhnlichen vneinigkeit vnd zancks. Mein hoffnung ist, ob Gott wil, Christlich: der widerigen einbildung ist, weiß nit wie. Gott sihet allbereit darein mit heimsuchung deß zancksüchtigen Teutschlandes. Bedenck es aber, lieber freund, wie müste ich jhme thuen, das ich auff einer seit mit der Eigensinnigkeit, auff der andern aber mit der Haltung mit dem grossen Hauffen neben gutem gewissen vnbeschmützt pleibe?

Ableinung deß Verdachts von verachtung der H. Sacramenten.

Anlangend die andere aufflag von verachtung der H. Sacramenten, demnach ich jetzo gnugsamen bericht gethan, das ich deß H. Abendmahls je vnd allweg begehrt, aber auß angezeigten vrsachen, vnd nicht von etwa eines Ergerlichen lebens willen, abgewisen worden; alß, lasse ich hierüber fromme Christen vrtheilen, ob ich ein Verächter der Sacramenten vnd deß Wortes Gottes seye. Ich begehr es, so wöllen sie mir es nicht geben, ich thue dann etwas, daß wider mein Hertz ist, vnd sie deßhalben selber nicht rahten, das ichs thuen soll. So enthalte ich mich darumb nicht deß H. Abendmahls, sondern betrachte den befelch Christi, das Thut zu meinem gedächtnuß, vnd weil man michs an einem Ort ohne vnverantwortliche Aufflag vnd Bedingnus [S. 11 B2] nicht thun lesset, so begehr ichs an einem andern, so lang, biß ich einen finde, der jhme selber nicht ein solches gesetz machet, mich wegen dieser *differentz* außzuschliessen.

Ableinung deß Verdachts. von zweiffel in Glaubenssachen.

Das ich fürs Dritte auch deß Zweiffels beschuldiget werde, kompt daher, weil ich bey fürnehmen *Theologis* mit Schrifften angeklopfft, vnd drauff dringe, daß mir dermahlen eins auch antwort werde, weil man mich außschliesse, damit ich sehe, wa der fähl, vnd das ich mich erbiette zu folgen, wa ich dem Wort Gottes gemäß vnderwisen werde.

Mit dieser weiß aber, so kunte keiner nie recht thuen, sondern er müste eintweder Heuchlen wider sein Hertz, oder er müste, wann er sich keiner volg erbiettet, halßstarrig, vnd da Er sich deren erbiettet, ein Zweiffler sein. Item so kompt diese beschuldigung daher, weil ich mich zu keiner, nach den vorgehern genenten Gemeind völliglich bekenne. In welchem stuck ich erachte, das meinen Mißdeutern etwas von Menschlicher blödigkeid anhange. Dann sie meinen, es sey vnmüglich, seiner sachen gewiß zu sein, es schlage sich dann einer zu deren dreyen hauffen einem, die heutiges tags mit einander zancken, wie sie gethan. Ich aber halte mich zu allen einfältigen Christen in gemein, sie heissen wie sie wöllen, mit dem Christlichen band der Liebe, bin feind aller mißdeutung, rede dz beste wa ich kan. Mit meiner *Confession* ist es nicht noht, daß ich mich zu einem hauffen für sich selber halte. Dann wann ich mich zu der Heiligen Schrifft halte obbesagter massen, so gibt es sich selber, das wir allerseits rechtmessiger weise zusamen halten, so viel mehr, soviel ein jeder sich neher zu derselben helt. Obs schon nicht von allen seiten Engelrein zugehet, so bin ich doch beflissen, das der Mangel vnd vrsach zur Zwitracht nicht etwa an mir seye. Vnn zwar jhr begehren, das ich mit ihnen die Jesuiter vnd Calvinisten der *Nestoriani*schen Ketzerey beschuldigen solle (dann dieses tregt die vnderschreibung der *Concordiæ* auff dem rucken) ist also beschaffen, thue ich diß, so würd ich zwar mit etlichen wenigen *Theologis* in diesem Artickel einig, mit der Gemeind ward ich zuvor einig: aber hingegen begebe ich mich nicht nur in einen zweiffel, sondern gar in ein Hertz- vnd gewissen klopffen, allweil ich wider dasselbig mein gewissen handele: Item ich [S. 12] begebe mich mit etlich vielmahl mehrern Christen, so von jhnen verdampt werden, in grosse merckliche vneinigkeit in diesem Articul, vnd diß wider das zeugnuß meines gewissens, das sagt mir, daß man auch dem feind nicht vnrecht thuen, sondern jhn lieben, vnd die vrsachen zu weitterer trennung nicht vermehren helffen solle: es sagt mir, ich soll meinem feind ein gut Exempel aller lindigkeit vnd sanfftmut geben, vielleicht verursache ich bey jhme deßgleichen, vnd schicket Gott dermahlen eins den lieben erwünschten friden.

Hierwider sprechen die *Theologi,* ich sey ein Narr, vnd wöll gescheider sein dann Gott selbs, der hab vns durch den Mund S. Pauli vorgesagt, es müssen Ketzereyen, vnd nicht frid sein, vnd diß soll das Zeugnuß jhrer gewißheit sein, die sie meinem vermeinten zweiffel entgegen setzen. Ich hab geantwortet, vnd antworte noch, diese vorsagung gehe nicht auff gewisse Ketzereyen, als ob die Kirch deren *in specie* nimmermehr loß werden könde, Es seyen auch diese Propheceyungen nit darumb geschehen, auff das wir alle hoffnung zu frid vnd einigkeit auß dem sinn schlagen, ja alle mittel zum

friden dienstlich mit fleiß vndertrucken sollen, sondern sie seyen geschehen vns zur warnung, auff das ein jeder sehe, was er thue, weil je durch die Ketzereyen die rechtschaffene sollen bewäret werden. Dann S. Paulus hat diß den Corinthiern geschriben, Er höre, es seyen Ketzereyen, oder Rotten vnder jhnen, da einer sage, Ich bin Cephisch, der ander, ich bin Apollisch, vnn zwar, es müssen solliche Ketzereyen sein etc. Warlich nicht zu dem end hat ers geschriben, auff das er einen oder den andern hauffen stercke, das sie dapffer auff einander schelten vnd einander vndertrucken sollen, sondern auff das sie frid machen, vnd sich deß Rottirens mit sonderlicher *Rabbinorum* Namen entschlahen. Achte derhalben, ich richte mich besser nach der Warnung Sanct Pauli, wann ich, den gegentheil in gewissen Articuln, da jhnen meins dunckens vnrecht geschihet, nicht anklage, sie auch deroselben halben mit dem gehässigen Namen der Arianer, Mahometisten, Calvinisten, wider jhren willen vnd mein wissen nicht verfeindselige, damit ich vrsach zum friden gebe, vnd nicht mit dem hauffen dahin auffschreye, Ich bin gut Lutherisch, ich bin ein feind der Jesuiter vnd Calvinisten, vnd damit man an mir nicht zweiffele, so will ich der *Concordi* vnderschreiben, vnd es in allen Articuln mit derselben halten, ob schon etliche sachen drinnen mir in meim gewissen wehe thuen. In summa, [S. 13 B3] es wollen dieser seiten *Theologi* nur gutte Teutsche Landsknechte haben in Glaubenssachen, da einer Gelt von einem einigen Herren nimpt, vnd bey demselben Leib vnd Leben auffsetzet, nicht so genaw nachgrüblend, ob derselbige recht oder vnrecht habe. Wer diß nicht thut, der ist bey jhnen ein flüchtiger, forchtsamer, abtrünniger zweiffeler. Zwar in Weltlichen sachen ist es von einem Vnderthanen wol gethan, daß er seinen Herren sein sach *defendirn* lesset, er aber das jenige thut was er schuldig ist, so es jhne sein Herr schaffet; aber in diesen gewissens sachen, heisset es bey mir; Du bist Tewer erkaufft, mache dich nicht selber zum Knecht den *Theologis,* sie seind dir nicht nach jetz fürgesteltem Weltlichen Exempel an Fürstens statt fürgesetzt, daß du jhre vnrichtige händel mit vnderschreibung jhrer Bücher wider dein eigen gewissen helffen sollest außkochen.

Hieher gehöret auch der Spruch auß der Offenbarung Johannis, den mir beids *Theologi* vnn etliche jhnen wol geneigte Laien fürgestossen, Du bist weder Kalt noch Warm, Ich will dich außspeyen. Warlich es klinget wol auff diese sach. Dann ich bin ja weder Lutherisch noch Calvinisch, oder Jesuitisch auff jhren schlag, dann ich halts mit der verordnung deß grossen theils der Menschen zur Sünd vnd zum verdienender verdamnuß nicht mit den harten Calvinisten, auch nicht mit dem Buch Lutheri, vom gefangnen willen, disen drinn etlicher massen begriffenen Puncten anlangend, die Augspurgische *Con-*

fession haltet es auch nicht mit. Hingegen halt ichs im Articul von der Person Christi nicht mit den Lutherischen biß auff verketzerung deß gegentheils, vnd annehmung der Newen weise zureden: die Augspurgische *Confession* thut es auch nicht: so bin ich auch sonsten nit Papistisch, die Augspurgische *Confession* auch nicht. Aber Gott lob das Christus der HErr, welcher diese Wort außgesprochen, auff diesen jhren schlag, weder Lutherisch, noch Calvinisch, noch Papistisch gewest, noch ist, auch dises Wort, Ich will dich außspeyen, nicht von einer *discretion* vnter vermischten strittigen Glaubens Articuln, sondern von eim Christlichen Leben vnd gutten Wercken geredt hat.

Ableinung der vnbestendigkeit vnd newerung. [S. 14]

Anlangend entlich, das ich für einen Vnbestendigen, vnd zu Newerungen geneigten Wetterhaan außgeschryen werde: da solte mir billich in ansehung der langen zeit, durch welche ich bey meinen *Exceptionibus* bestendig verharre, verschonet werden: so gar dz auch andere zum widerspiel mir eine halßstarrigkeit zumessen, der ich mich eine so lange zeit nit habe weisen lassen, vnn wie ihr wort lauten, mich noch nicht geben wölle. Vnn wann ich heuttes tages den stihl vmbträhete, wann ich mit verbergung meiner jnnerlichen gedancken, von aussen bekennete, ich hette geirret, sie hetten allerdings recht: so würden sie mir diß im wenigsten nicht für eine vnbestendigheit oder *Novation* außdeuten. Aber verflucht sey eines vnd das andere, wider gewissen etwas bestreitten, vnd wider gewissen einen fähl bekennen. Dann wie dorten Augustinus sagt, das einen nicht die Pein vnd der Todt, sondern die Vnschuld vnd das Bekantnuß der Warheit zu einem Martyrer mache: also sag ich hie in fast ehnlichen *terminis,* daß die Halßstarrigkeit vnd Verstockung nicht auß dem streit, sondern auß der Ehrsucht; also die Vnbestendigkeit vnd Newerung nit auß der bekehrung, sondern auß dem Kitzel vnd Ohrenjucken zuerkennen vnd zu vrtheilen sey.

Wolt jhr aber wissen, waher diese bezüchtigung rüre? Warlich nicht auß diesem, das ich in einerley sach bald Ja, bald Nein sage, oder alle Tage etwas Newes in Glaubenssachen herfür bringe: sondern daher kompts, dieweil ich je zuweilen jhrer etlichen, wegen jhrer vngestümmen vnd vnbesunnenen weiß zu Predigən wider die Papisten, die hie zu Land vnsere Herren seind, eingeredt, da suchen sie hingegen vnd bringen widermich auff, was sie könden, sonderlich wann sie mich je bißweilen einen hören loben, der ein Buch außgehen lasset, vnd drinn entweder meines schlags *disputiret,* oder sonsten auch, vnd für sich selber eine gutte erinnerung thut, daran ich zuvor nie gedacht, oder die bey keinem *Theologo* nie gelesen, oder das ich auch durch schertzreden (dann wer will allzeit zornig sein) sie selber auffbringe, mit fürwendung, ich sey Gott lob nun nicht mehr allein, wie sie mir stättigs fürwerffen, ich habe

auch einmahl einen fürgeher, zu dem ich mich bekenne, der auch ein ansehen habe.

Also hat es sich begeben mit deß *Isaaci Casauboni* Buch, das er geschriben *in Apparatum Annalium Cæsaris Baronii,* darinnen er jhme das Regiment der Kirchen durch die Bischoffe, nach altem Apostolischem brauch, wol [S. 15] gefallen lesset; Item da er in erzehlung der Mancherley Namen vnd Tituln, welliche dem H. Sacrament deß Leibs vnd Bluts Christi von den Alten Kirchenscribenten gegeben werden, vnder diesem vnachtsamen vnd fast nur Grammaticalischen Titul desselbigen Capitels spreche ich, viel ein mehrers höhers vnd wichtigers werck rüret, vnd soviel gesagt haben will: Man soll nach dem gebrauch der alten Kirchen, die schweren *disputationes* von der Gegenwart deß HErren Leibs vnd Bluts, der alberen Gemeind auß den Augen vnd Ohren rucken, sie dessen bereden, daß es ein sollich geheimnuß sey, das nur für die jenige auff zusparen, die nach etlichen Jahrn zu einem vollkommenen Verstand der Geistlichen sachen gelangen werden; vnder dessen sollen sie die waare gegenwart nur einfältig glauben, vnd nicht nachsinnen, wie es zugehe, sollen allein diß wissen, daß es nicht natürlich, oder nach art eines glorificirten Leibs allein geschehe, oder daß es desselben beschaffenheit vnd zustand hindere, es werd jhnen schon mit der zeit ein mehrers offenbaret werden, wann sie dessen würdig erfunden werden. Ist ein fürschlag, nicht in seinem Kopff gefunden, sondern auß der Kirchenlehrer Bücher, so vor Tausent vnd mehr Jahren geschriben worden, herfür gezogen, vnd dahin angewendet, ob man etwa hiermit zu frid vnd einigkeit gelangen möchte. Das helt an jhme selber kein newen, viel weniger falschen Glaubensarticul in jhme, ist der Augspurgischen *Confession* nicht zuwider. Dergleichen Newerungen, wann es Newerung heissen solle, finden sich Täglich, ja fast in allen Predigten, in allen *Commentariis,* warumb würden deren sonsten täglich so viel gedruckt? Darneben dieser *Author* sich *in Negocio Omnipræsentiae* deren wort vnd *Argumenten* vernemen lesset, welche ich auß den *Patribus* brauche, vnd mit keiner *subscription* vergeben, noch an den Partheyen verdammen kan.

Gleiches hat sich in zweyen Jahren hernach begeben mit dem Buch *Marci Antonii de Dominis*: von welchem ich etwas weitläuffiger berichten muß.

Demnach *Anno 1604.* ein Newer Stern im Zeichen deß Schützen erschinen, welcher durch das gantze folgende 1605. Jahr gewehret, vnnd ich erst im Frühling deß 1606. dessen vergewissert worden, das er allerdings verschwunden, hab ich im selbigen 1606. Jahr ein buch mit den *Titulo, De stella nova, & coincidente principio Trigoni ignei,* außgehen lassen, vnd hab mich in demselbigen beflissen, so viel mir müglich gewest, die allerfürnemiste hendel der [S. 16]

Welt zu durchlauffen, ob ich etwas zu *prognosticiren* finden möchte, das eines so grossen vnd mercklichen Wunders vnnd Vorbottens würdig geschetzet werde.

Vnder anderm finden sich *fol. 177.* diese Wort, vnd Inhalt: Wie, wann sich zur zeit der Erscheinung dieses Sterns jemand gefunden, der eine Newe Religion vnd Glaubensbekantnuß, oder einen Newen Religionfriden, Articulsweise zuverfassen sich bewegen hette lassen, Nemlich auß betrachtung dieses Newen Sternens, nicht zwar nach der *Astrologorum regulis,* sondern nur schlecht wie der gemeine Mann diesen Stern angesehen, oder von *Astronomis* gehört, das er nechst oberhalb zweyer vereinigter Planeten gestanden seye: Das nemlich ein sollicher hiedurch wäre angemahnet worden, Zwo widerwertige Partheyen zuvereinigen, hoffend, wie diß der allerschöniste Stern gewest, also werde nicht wenigere freud vnd lieblicheit auß stifftung eines sollichen fridens erwachsen? So nu dergleichen jemand an einem vnbewusten Ort sich verborgen hielte, der etwa sich für einen Propheten außgebe, oder auch mit seiner Macht vnd glegenheiten getrawete ein solliches werck durch zutreiben: der möcht noch deutlicher von der Straßburgischen wundergeburt etc. vorbedeutet worden sein. Vnd nach beschreibung derselben, folget weiter. Es ist zwar die Welt schon lang her vrdrüß deß vielfaltigen streitens in Religionsachen (So hat mich gedunckt vom 12. Jahr an, meines Alters, habs auch nach vnd nach, als ich erwachsen, von andern vielfaltig erfahren) Vnd ist doch nicht zu hoffen, das nur eine Part vberbleiben, vnd die andere vndertrucken werde, etc. mit einführung etlicher Exempeln. Ist derowegen ver- [S. 17 C] muthlich, wann jemand käme, der einen weg zeigete, wie zwo Partheyen, so vnderschidliche vnd vngleiche Glaubensbekandtnussen haben, durch Brüderliche Lieb in ein Hertz zusammen wachsen (wie die zwey wunder Maidlen nur ein Hertz gehabt) sich einerley *intent* vernemen lassen (wie die Maidlen nur ein Angesicht vnd vorder Hirn gehabt) einerley reden führen, nur ein offentliche Bekandtnuß dessen so sie beyde in gemein glauben, brauchen (wie die Maidlen nur einen Mund, Schlund, Gurgel, Lunge vnd Magen gehabt:) Aber für einen Mann stehen, vnd mit vielen händen für einen Leib streiten (wie das Wunder zwey Genicke, zwen Ruckgrad, vier Ohren, vier Hände, vier Füsse, zwo Leber, vnd zwey Weibliche Gemächte gehabt.) Wer hierzu, sprech ich, einen weg zeigete, der würde zwar wole in seltzames Wunderthier schmiden, aber doch würde er der Welt vermuthlich angenem sein. Vnd nach vielen erzehlten meinungen oder außlegungen folget endlich *fol. 209.* ein außzug alles dessen, was man auß anleitung der Himlischen vmbstände zusammen tragen möchte, folgenden Inhalts.

Ein newe Anfrischung der alten allerschwäristen Kirchenstreite, eine newe *faction*, nach langem Zanck endlicher frid, abstellung aller *Confusion* vnd vbermaß, widerbringung guter Ordnung: widerkehrung zu der rechten warhafftigen Catholischen Kirch, vnnd zu der Apostolischen Einfalt im Gottesdienst, zuruckschreittung zu dem vrsprünglichen Alphabeth deß Christenthumbs: zuwider allem Gepreng angemaster Hochheit, Reputation oder Ansehen, zuwider aller vnruhe, streit, zanck, auffruhr, schwierigkeit vnd frevele deß gemeinen Volckes, obsieg deß vralten herkommens, der standhafftigkeit, guten raths, *discretion*, behutsamkeit, gebürlichen ernstes, Mässigkeit vnd Bescheidenheit.

Es solle ein offentlich *Concilium* gehalten, vnn in demselben die zerfallene [S. 18] Kirchen*disciplin* wider angerichtet etc. die Kirchen reformiert vnd gebessert, der Jungen angemassete frey- vnd frecheit, oder vnzeitiger eyfer in fürtragung so vieler streitsachen auff offener Cantzel, in *disputir*sucht, in außholhipperung, in böser außdeutung dessen was nicht so böß gemeint, vnd man wol könte beim nechsten bleiben lassen, dise frechheit, sprech ich, solle eingestelt, deß gemeinen Christen Volcks vnsinnige weise in verfolgung jhrer widerparth, vnd alles dessen, was es selber nicht fassen kan, besser in zaum genommen werden; die *Aristocratia Collegiorum*, oder zusammensetzung rechter Bischofflicher Menner in offentlichen *Conciliis* wider in ein auffnemen vnd ansehen kommen; das gepreng, vberiger Hochmuth, Pracht, vnd herfürprechende Ehrgeitz deren so sich einer *Monarchia*, oder vngemittelten beherschung der Layen oder Geistlichen anmassen, abgestelt, gedempfft, oder eingezogen werden, summa ein erwünschte vernünfftige *Reformation*, zu deren aber doch ein schwärer verwirrter vnd mit Blut geferbter Anfang werde gemacht werden müssen: das end soll doch gut sein, nach eines Manns leben; vnd soll mit grossen Solenniteten offentlich bestättigt werden von den Häuptern der Welt. In werender *tractation* zwar, werde das gemeine Volck wenig darumb wissen. Dann ob schon etwa zusammenkunfften etlicher weniger werden gehalten werden, so werde doch das maiste durch die Gelehrte vber Land durch zusammenschreiben verhandelt werden. Soviel auß erwehntem Buch. Nun laß ich einen jeden nach seiner *Profession* oder wissenschafft vrtheilen, ob ich diß so gar genau ins Himmelslauff gefunden, vnnd auß anleitung sonderer [S. 19 C2] Kunst schließen könden, oder ob ich auß meinem eigenen Kopff vnd Wunsch geredt, vnd die himlische Vmbstände, nur allein als gleichsam an statt eines *Alphabets* gebraucht habe. Es sey aber eines oder das ander, so hat ein jeder leichtlich zugedencken, wie grosse vrsachen ich gehabt, nach zehen Jahren, wie *M. Antonius de Dominis* mit seinen schrifften auffgetretten, mit vollem Hals herfür zubrechen. Thuen wirs doch in gemein, mit anderer *Prognosti-*

canten vorsagungen, die wir nicht selber geschriben haben: Wann also etwas zutrifft, das wir darvon singen vnd sagen, sonderlich etliche mir auffsätzige *Theologi* von jhren Spießgesellen, welche auch *Prognostica* schreiben: wie hette es dann bey mir könden vermitten bleiben, der ich meine eigene *Prognosticationes* gleichsam auff einem Nägelin für Augen ligend habe. Wie hab ichs dann mit diesem *M. Ant. de Dominis* getroffen? Erstlich in dem, das er ein Ertzbischoff, das er sich anmasset, jhme sey Amptshalben neben dem Römischen Babst, die Auffsicht auff die Allgemeine Christliche Kirchen anbefohlen, das heisset sich für einen Propheten außgeben. Fürs ander dz er *Anno 1616.* von sich geschriben, er sey schon 10. Jahr mit seinem werck *de Republica Ecclesiastica* vmbgangen. Sihe da, so hette er gleich eben in dem Jahr angefangen zuschreiben, in welchem ich diß *prognosticirt,* So nu dergleichen jemand an einem vnbewusten ort sich verborgen hielte, etc. Nemlich *Anno 1606.* zu *Spalata in Dalmatia,* da das Occidentalische Patriarchat ein end hat; Freylich an einem vnbewusten Ort oder *latebra,* wer wolte dahin gedacht haben? Fürs dritte, Daß er die Vrsach seines vndernemens auff die inbrünstige begird setzet, Friden in der Kirchen zustifften. Daß ist meinem *Prognostico* gemäß, *Novæ pacis in Religione articulos commentari.* Fürs vierdte, Die form friden zustiffen, zu deren er vermahnet, ist den worten meines *Prognostici* gar vber vnd wider meinen eignen wunsch vnnd begehren gemäß. Zwar achte ichs für Göttlich vnd Apostolisch, das wir alles daß, was wir versichert seind, daß es von Christo vnd seinen Aposteln komme, ins gemein mit einander bekennen sollen, wir heissen wie wir wöllen: was aber eines jeden eigen, oder seines Vorgehers ist, wann es nicht offentlich wider das erstgesetzte strebet, aber doch zwischen

S 20 vns Zanck gebiret, daß dasselbig ein jeder bey sich behalte, vnd darmit seinen nechsten vnbekümmert lasse, darinn bestehet das Apostolisch Gebott, das wir sollen einerley gesinnet sein. Diß rahtet auch dieser *Spalatensis,* gehet aber noch weiter, Man soll sich nochmahlen samptlich einem künfftigen ordenlichen *Concilio submittirn,* welches zu dieser zeit, ehe man der *Assessorum qualiteten* halben versichert, noch zu frue, vnnd hiesse meins erachtens viel mehr Gott versuchet, dann Gott geglaubet. Wann es aber zuvor wider darzu käme, daß man die Bischöffe zu diesem Ampt zwingen müste, vnd fürter weder die *Electores* noch die *Candidati* sich mehr vmb die wahl mit heimlichen practiken oder offentlichen Waffen rissen, da wolt ich mich besser besinnen, was mir hierbey, nicht von meiner eignen vergwisserung, sondern allein von Christlicher Lieb vnd fridens willen zuthuen oder einzuwilligen sein würde. Sonsten diesen vierdten Puncten anlangend, wann wir nicht nur Wort vnd Bücher, sondern viel mehr die Wercke ansehen, hab ich mich die

vorgesagte zehen Jahr vber, mit der Calvinisten vnd Lutheraner *Union* am Reinstrom vnd anderswa, da es zwen Köpffe, viel Hände vnnd ein *intent* vnd Hertz gewest, Item mit der gemeinen *Confession* zwoer Partheyen in Böheim, da es auch hinten zwey, vnd fornen mit dem Mund eins gewest, so zimlich hin betragen könden.

Fum fünfften aber, wider zu dem *Spalatensi* zukommen, so sehen alle die, so seine Bücher gelesen, wie so gar eigentlich er in denselben fürschreibet alles das jenige, was ich *fol. 209. prognosticirt,* daß es endlich gar geschehen werde. Deßhalben dann ein solcher vnzweiffelich bekennen wird müssen, das jetzberührte meine wort ein rechter kurtzer außzug seyen auß sein deß *Spalatensis Opere de Rep: Ecclesiasticá.* Darauß ist vnwidersprechlich zuschliessen, das gewißlich beyde *Scriptores* im schreiben Hauptsächlich allerdings einerley sinne gehabt. Er rühret den gantzen streit, zwischen Papisten vnd Lutheranern, auch andern Kirchen, welche vber den Römischen Stuel klagen, wer jhme folgete, der würde von allen Partheyen dieser zeit für einen newen Ketzer gescholten, er trachtet nach fridlicher hinlegung alles Zancks, er taxirt alle *confusion* vnd vbermaß, er trachtet gute Ordnung zuwiderbringen, er will nicht für einen Abtrinnigen von der Catholischen Kirchen gescholten sein, sondern rahtet jederman sich zu deren zuhalten, die aussige Partheyen heisset [S. 21 C3] er ankloffen, die drinnen heisset er auffmachen. Er führet alles Kirchenwesen auß, von dem ersten vrsprung der Apostolischen einfalt, Er lehret das rechte *Alphabeth* deß Christenthumbs. Das er sich hernach weiter in der nachfolgenden Kirchenscribenten Büchern vergehet vnd vertieffet, daß er die *Syllaben* auß diesem *Alphabeth,* noch gar zu bund, vnd zu Bäpstisch zusamen schlegt, das hebet das jetzgesagte nicht auff, vnd ist mein *intent* nicht, das jenige herfür zuziehen, das weder mit noch wider mein *Prognosticum* ist. Er greiffet das recht eigentlich genennete Bapstthum an, das ist, dessen angemassete *Monarchiam* vber die gantze Christenheit, zeigt an, daß dasselbig ein vrsprung sey aller Trennung. Er erhebet doch darneben den Bischofflichen stand, als ein Apostolische Ordnung, zeiget den *Reformirten* Kirchen an, wie gar vnrecht sie daran seyen mit der *æqualitate* oder gleichheit der Kirchendiener, vnd was verderblicher vnraht vnnd schaden darauß erfolge, wann mans also mißbrauche: Er richtet sein gantze *Remp:* dahin, wie man dermahlen wider zu rechten Göttlichen *Conciliis* gelangen möge. Wider die *Monarchiam* deß Bapsts, *defendirt* er *Aristocratiam* der Bischoffen *in Conciliis.* Durch diß mittel verhoffet er auch allem vnzeitigen Eyffer Junger vnberichter Prediger, vnd allem Mutwillen deß Volcks ein gebiß einzulegen. Sonderlich aber gehet er in erweisung aller Ordnungen vnnd Glaubens *Articulorum,* auff das vralte herkommen, Ist

es jhme müglich, wa er kan vnd mag, so entschuldigt er alle Lehrpuncten, welche bey dem mehrerntheil der alten Kirchenscribenten gefunden werden, dz man dieselbige nicht in einen so bösen verdacht ziehe, wie derselbig auß dem anfänglichen streit zwischen Luthero vnd den Papisten, vnd auß verursachung seiner gehässigen widersächer bey vns erwecket worden. Zum Exempel, Etliche sachen von den *Patribus* gelobt, gefallen Gott, nicht *ex opere operato.* (wie die Augspurgische *Confession* auff jhren Gegentheil solchen mißverstand klaget, vnd gegentheil, deren zutrutz, solches behauptet) aber doch *ex opere Operantis,* diß sey der *Patrum* meinung gewest. Item sie haben gelehret für die Verstorbne bitten, nicht als ob sie im Fegfeur seyen, sondern weil jhre vollkommene seligkeit erst am Jüngsten Tag folgen soll, oder weil [S. 22] man auch für diß bitten soll, was Gott für sich selber thue, oder weil Gott auch das künfftig Gebett ansehe, vnd es den Sterbenden geniessen lasse, oder, weil die Seel nicht gleich im Augenblick vom Leib scheide. Item *Satisfactiones Canonicæ,* verstehen sich bein *Patribus non Deo, vice satisfactionis Christi, sed Ecclesiæ,* oder ob sie es schon schriben, das Gott ein gnügen beschehe, so meinen sie nur allein die erweisung, daß es dem Sünder mit seiner Busse rechter ernst seye. Vnd viel dergleichen, darauß erscheinet das dieser Mann ein gar emssiger vnd eyfferiger *assertor* vnnd *propugnator antiquitatis* seye: dem es gar nicht gefalle, daß man alles alte, gleich als ob es allein vom Bapst erdacht, ohn vnderscheid vbern hauffen werffe, vnd sich in vnnötige Newerungen begebe: also den Zwispalt vnd Trennung je lenger je grösser mache. Zum sechsten, Ob auch jemand mir fürwerffen wolte, dieser *Spalatensis* hette doch nichts gerichtet, sondern allein geschriben, so ist doch auch dieses meinem *Prognostico* gemäß, das ein sehr langwirige *reformation* für der Thür, welche eine lange zeit nur mit Büchern vnd Schrifften abgehandelt werden solle. So ist er auch in dem noch zu früe kommen, das in Teutschland, allda deß Streits am meisten, damahlen noch kein Blutiger Krieg angesetzt gehabt, welcher durch langwüriges vnheil ein mehrere begird deß fridens in Religionssachen erwecket, vnd also zu der besagten *Reformation* einen Blutigen anfang, nach laut meines *Prognostici,* gemachet hette. Vnd hie muß ich *auctarii loco* etwas hinzue setzen, weil ich das vorgehende vor vier oder fünff Jahren geschriben. Dann es habens im verschienen 1622. vnd jetzigen 1623. Jahr die Zeitungen mitgebracht, das dieser *M. Antonius* wider auß Engelland hinweg, nacher Rom gezogen, vnn offentlich widerruffen habe. Es ist auch ein form einer *revocation* fürhanden. Da Triumphiren meine Widersächer, vnd wissen nicht, wie sie mir diesen fähler schimpfflich genug fürrucken könden. Das mag aber der jenige achten, welcher gantz vnd gar den Irrdischen

Rabbinis ergeben ist, vnd meinet, es könde keiner auff rechter bahn sein, er habe dann auch einen Namhafften Vorgeher. Ein sollicher, glaub ich, würde gewißlich auch wider Bäpstisch worden sein, wann D. Luther sich hette weisen lassen. Meins theils kehr ich mich nicht dran, es sey dieser *author* noch heimlich in Engelland, oder sey zu Rom, frey oder verwahret, Lebend oder [S. 23] Todt. Mich jrret auch nicht, ist er anderst wider zu ruck, es hab jhne hierzu bewegt was jmmer wölle. Er hat geschriben, er sey nicht beruffen zur Marter, sondern zu schreiben wider deß Bapstes Tyranney in der Kirchen. Ich laß es sein, das er noch weiter gegangen, vnd bey sich *statuirt,* Er habe seinem Beruff nun gehorsamet, habe gnug geschriben: Hinfort, vnd weil es geschriben, vnd in die Welt *spargirt* sey, wöll er wider in sein Nest kehren, vnd sein leben in gewohntem wolstand beschliessen, Er sey nicht beruffen, im Elend zu sterben. Erger kan ers ja nicht gemeint haben. Hat er diesen fürsatz, so wird er drumben müssen antworten: vnd hat mich mit seiner vnbestendigkeit betrogen. Geschicht jhme dann vnrecht hieran, so hat die vnder seinem Namen außgebreitete *Revocation* daran schuld.

Es ist zwar der Christen *regula, Non esse facienda mala, ut eveniant bona:* man bringt aber auff allen seiten sehr viel *Exceptiones* darwider: Ich laß es derhalben abermahlen sein, das *Spalatensis* die Leute nicht gefunden, die er jhme eingebildet, das niemand sich an sein schreiben kehren wöllen, dz er bey der Landschafft in Engelland in gefahr gestanden, das er die Welt einer besserung in Religionssachen noch nicht würdig oder fähig befunden, das er darumben es auch nicht für eine Notturfft geachtet, seine gewissenhaffte schrifften auff befahrten vmbschlag der sachen in Engelland, wie *Cramerus Archiepiscopus Cantuariensis* vnd andere, mit seinem Blut zuversigeln: oder das er bey antrettung der Regierung deß Bapsts *Gregorii XV.* verhoffet, in Italia in andere wege nutzen zuschaffen, vnd zu seinem *Intento* zugelangen. Es mag entlich meinethalben auch ein Jesuiter oder jemand anders vnder seinem eignen oder deß *Spalatensis* Namen auffgezogen kommen, vnd bestreitten, es sey dem *M. Antonio* allerdings ernst mit der *Revocation,* er hab *toto tempore operis sui laboriosissimi & consideratissimi* geschlaffen vnn geträumet, vnn sey gächlingen erwachet, wie *Paulus V.* gestorben. Summa der Mann sey Fux oder Haaß, sein Buch ist mir vmb deß Manns willen nichts desto werther oder vnwerther. Es reden in demselben die *Patres, nec revocant,* der weg ist drinnen gezeiget, einen weg als den andern, eine vernünfftige *Reformation* anzustellen: lesset es sich nit alles mit einander *practiciren,* so findet man aber drinnen gleichsam ein vnpartheische *Historiam Ecclesiasticam,* [S. 24] die weder auff die Lutherische seitten, wie *Magdeburgensis,* noch auff die

Bäpstische, wie deß *Baronii,* gebogen vnnd gezwungen ist: Man findet drinnen eine anleitung vnd *promptuarium locorum communium,* wann es von nöhten, in den *Patribus* mehr nachzuschlagen. Krieg vnnd verderbung deß Teuschenlandes haben wir leider auch für Augen; diß Etzpflaster (wie ich vor vier Jahren *de Cometa,* geschriben) ist vns allbereit auff das faule fleisch gelegt, vnd fahet an auff das lebendig einzufressen, Nunmehr beginnen wir nach lindem öl deß Kirchenfridens, welches das vielermelte Buch *de Rep: Ecclesiastica* fail spricht, zutrachten, der härbe Essig der beissigen Predigten wider Papisten, Calvinisten, Lutheraner, will nun mehr zu scharff vnd gar vnleidlich werden. Ich kan derhalben nicht verreden, das man schon jetzo nach *Reformationibus* dencke, wiewol es noch weit biß zu den bestimpten 60. Jahren ist. Oder haben meine Widersächer nicht gnug hieran, so will ich jhnen es mit gelehrter Leut offentlichen Schrifften von vnderschidlichen Partheyen darthuen, daß man auff das eigentliche *intentum Spalatensis in re & modo* dringe, das nemlich der friden nöhtig aber kein besser mittel hierzu, dann alle Newerungen fahren lassen, vnd das alte, was nemlich die reine *Patres Ecclesiastici* von so vielen streittigen sachen geschriben, wider herfür gezogen. Bleibt also mein *Prognosticum* mit seinen ehren, dieser einred halben (das *Spalatensis* widerruffen) noch zur zeit in *suspenso.* Vnn hab ich hiermit genugsam außgeführt, warumb ich meinen Widersächern, die mich immerzu nur auff Menschen weisen, nur auff ein einigen *Theologum* dringen, ders mit mir halte, warumb ich jhnen, sprech ich, den *M. Antonium de Dominus,* das ist (sein Buch, vnd nit sein Person) fürgehalten, jhnen darmit das Maul etlicher massen zustopffen.

Zu dem aber, das er in Notwendigkeit der *Reformation* vnsers Evangelischen wesens, vnd in verwerffung vnserer vnordnungen, so gar genaw mit mir vnd meinem *Prognostico* eintrifft, ist auch diß kommen, das ich jhne eben in dem jenigen *articulo de persona Christi,* vmb welches willen ich allhie von der Lutherischen *Communion* außgeschlossen werde, gantz vnd gar einerley meinung mit der Römischen Kirchen, vnd *consequenter* mit den *Patribus Ecclesiasticis* befunden. [S. 25 D] Weil dann kein anders *dogma* zwischen mir vnd den *subscriptoribus Concordiæ* streitig, (das oberig, so den *Theologis* am wehisten thut, ist nur allein von der *praxi disputandi, concionandi, arguendi &c.* Von bestellung vnd *disciplin*irung deß *Ministerii,* damit auff dessen seitten aller möglichster fürschub zum friden gegeben werde) so verstehet es sich selbsten, das ich den gerühmeten *Consensium* mit diesem *Spalatensi* keins wegs auff alle vnd jede *dogmata* von not wegen verstanden haben wöllen, da er etwa hie vnd da noch zuviel Bäpstisch geschriben, viel weniger, das ich einen einigen

Articulum Augustanæ Confessionis mit rühmung dieses *Consensus* verlaugnet habe: Allerwenigist aber, das ich darumb wider vmbgestanden, weil *Spalatensis revocirt* haben solle, wie mir vor einer gantzen Christlichen versamlung vnder Augen geredt worden. Dergestalt müssen wir an stat dessen, das im Römischen Catechismo stehet, Ich glaub was die Römische Kirch glaubet, also setzen, Ich glaub was D. Luther, vnd ich Kepler was *M. Ant. de Dominis* glaubet: *revocirt* ers, so *revocir* ichs auch.

Also bleibt es darbey, wann meine Widersacher mein vnbestendigkeit nicht anderst zuerweisen haben, dann allein mit dieser deß *Spalatensis revocation,* da ich mich doch seines *Consensus* gerühmet habe: so thuen sie mir zuviel vnd vnrecht, hausen hiermit nicht allein mir, sondern auch andern, so sich drüber an mir ergern, zuschaden, welches sie, ob Gott will, mit der zeit selber erkennen, vnd Christenlich abstellen werden. Ich bitte derhalben alle vnd jede Christliche Hertzen, so etwa darbey gewest, da man mir meine Wetterwendische vnbestendigkeit in Religionssachen damahlen deß *Spalatensis Revocation* außkommen, also fürgerucket; Nicht weniger auch andere, so dergleichen etwa von andern gehöret: sie wöllen bey dieser vngegrünten bezüchtigung auff Menschliche blödigkeit vnd auff die glegenheit zu auffbringung deroselben wider mich jhr auffmercken haben, in dem meine widerige theils in erfahrung kommen, das ich bißweilen vnd newlich etlicher Prediger vnvorsichtige *invectivas contra Pontificios* geantet vnd gestraffet. Ich will jetzo für den Menschen nicht *defendiren,* das ich recht daran gethan, ich will es mit Gott außtragen, vnd will vmb deß gehabten guten *intents* willen diß vngemach vnd *Confusion* für den Menschen gern als gleichsam zur straaff tragen; Nur allein bitt ich [S. 26] meniglich man wöll darumb nicht alle vnd jede verkleinerungen vnd anklagen, die man mir hinterwärtz nach oder auch vnder Augen saget (doch ohne bescheinung vnd grund) gleich so bald vmb deß blossen ansehens willen der erzürnten Gegenpart annemen vnd glauben, sondern gewißlich darfür halten, wurde ein sollicher zorn mehrere vnd gewissere *fundamenta* haben, so würde ers nicht verschweigen. Vnd soviel auch von der vnbestendigkeit vnd Newerung.

Wie fern die Außschliessung eine verfolgung zunennen.

Vber hie oberzehltem Religionshandel hat sich ein geschrey erhebt das die Prediger allhie mich auch verfolgen, vnangesehen ich Lutherisch sey. Dieses geschrey ist vnzweiffel dahin gemeint, auff das die Evangelische es jhnen nicht sollen ant thuen lassen, wann sie von den Römischen verfolgt werden. Hierauff gebüret mir zwar wol etwas zuantworten, ich kans aber nicht mit einem wort, oder wie man sagt *Categoricè*: sondern weil die jenige, welche vns Evangelische gern Päpstisch sähen, vnd auff allerley mügliche Mittel diß

zu *effectuiren*, gesinnet seind, das wort (verfolgen) einmahl anderst brauchen als das ander, so gehöret auff jeden verstand ein besondere antwort.

Dann erstlich, wann diß ein Verfolgung soll genennet werden, wann man einem zwar sonsten alle Lieb vnd Freundschafft erzeiget, aber doch ein solliches gesatz machet oder so es zuvor gemachet, an einer Person *exequirt*, dardurch dieselbige zwischen Thür vnd Angel gesteckt wird, das sie eintweder ein in jhrem Hertzen erkantes vnrecht, wider jhr eigen wissen vnd gewissen mit dem gemeinen hauffen vnd wahn gut heissen, oder aber von der *Communion* außgeschlossen sein solle, darauß dann einer sollichen außgeschlossenen Person allerley vnglegenheit entstehet, das man sie vieler schädlicher Ketzereyen vnschuldiger weise bezüchtiget, sich deren eusseret, vor derselben andere warnet, kein recht vertrawen in sie setzet, sie gar leichtlich im verdacht hat, daß man sie nicht gern an sollichen stellen vnd verrichtungen sihet, auff wellichen jhr gutter rueff beruhet, vnd von wellicher sie jhr Nahrung vnnd notturfftige vnderhaltung haben muß, das sie in Heurahts vnd dergleichen sachen dahero von Privat Personen hinderungen hat, das die Oberkeit auff [S. 27 D2.] mittel bedacht ist, wie sie deren mit glegenheit möchte loß werden, aber hiermit einer sollichen Person auch anderer orten, da sie sich hin begeben möchte, die Thür gesperrt würt, wann, sprich ich, diese *consequentien*, welche der Außschliessung von der *Communion* anhangen, auch wider deren willen die einen außschliessen, vnd mit jhrem hertzlichen mitleiden, nichts destoweniger für eine verfolgung zuhalten ist, so reden die Bäpstische recht von der sach, das ich von den Evangelischen *Ministris* allhie, vielmehr aber von dem jenigen gantzen *Ministerio*, von wellichem die hiesige *dependiren*, verfolgt worden, vnd noch nicht alles richtig. Dann ob wol meines Stands vnnd Dienste halben, dißmahls meines wissens kein gefahr fürhanden, so möchte aber doch mit der zeit vbel erger werden, vnn die *Vota* so mir zuwider, möchte einsmals fürschlagen, oder da ich meiner Hoffbestallung verlustiget, oder gar außgeschaffen würde, möchte ich hernach an andern Evangelischen Orten schwärlich oder gar nicht eingenommen werden, sonderlich wann andere scheinbarliche *prætextus* mich abzuweisen mit einkämen: da würde zwar die Religion, vnd das von dannen ervolgende ergernuß, mit worten gar nicht fürgewendet werden, aber wol in den Hertzen den meisten antrib geben.

Wann aber diß in jetz gesetzten *terminis*, nach der obvermelten Römischen Reden, für eine Verfolgung anzuziehen, vnnd für sträfflich zuhalten wäre: so mögen die Bäpstische bedencken, was dann diß für eine greuliche Verfolgung sein müsse, wann die Gesetze in einem Land also gemacht vnd *exequirt* werden, das ein gantze grosse Evangelische Gemeind vnder eins, vnd bey eusserstem

vnwerth aller Gütter das Ihrige verkauffen, mit Weib vnd Kind in wenigen Tagen das Land raumen vnd ewig meiden muß, will sie nicht wider jhr eigen wissen vnd gewissen, ein grosse Anzahl deren dinge, welche sie in jhrem Hertzen für vnrecht, Irrthumb vnd Abgötterey helt, dem gemeinen hochansehlichen hauffen der Papisten zugefallen, nicht allein gut heissen, sondern auch selber mit thuen vnd treiben. Wöllen derhalben gebetten sein, mit diesem geschrey innen zuhalten, das jhrige mit diesem was mir widerfehret, nicht zuvergleichen, vnd mir hierdurch noch mehrere vngelegenheit zumachen: sondern (damit ich nun zum andern verstand vnd drauff fundirte antwort schreite) gleich wie sie die Römische zu zürnen pflegen, wann einer die Jenige Herrschafften für Verfolgere angibet, welliche nach *prætend*irtem gewissen handlen, das ist, die Bäpstische Religion, welche sie für recht halten, mit allen denen Mitteln, die jhnen stands halben erlaubt, vnangesehen der betrübnuß der Vnderthanen, befürdern vnd forttreiben: also könden sie viel weniger vnsere Prediger einer Verfolgung bezüchtigen, wann sie dessen gewiß vnd warhafftig beredet seind in jhrem Hertzen, das jhnen Ampts halben nicht gebüren wölle, mit mir anderst zuverfahren, in massen sie sich dann vernemen lassen: auch mein *Intent* gar nicht ist, jhnen etwas wider jhr Gewissen zuezumuthen, sondern so ich fernere handlung mit jhnen pflegen müste, wolte ich mich allein dahin befleissen, sie mit tüchtigen vrsachen, so dann auch mit zeugnuß vnnd Exempeln anderer Evangelischer Kirchen zuberichten, das sie in diesem stuck jhr Gewissen allzu eng spannen, vnd von der *execution* dieses der Evangelischen Kirchen vermeinten gesetzes, (das einer von der *Communion* soll außgeschlossen werden, der in *puncto ubiquitatis* der alten Kirchenlehrer wort vnd *argumentationes* braucht, vnd von deren wegen die Calvinisten vnd Römische in diesem Puncten nicht verdammen will,) gegen meiner Person mit gutem Gewissen wol abweichen könden.

Wz gestalt die *Ministr* der verrfolgung halben zuentschuldigen.

[S. 28]

Beschluß.

DEmnach nun Ich in dieser Schrifft meine Bekandtnuß gethan, in welcher nichts nicht zufinden, das dem rechten vralten Apostolischen Catholischen Glauben, nach der Augspurgischen *Confession* zuwider; also versehe ich mich zu allen vnnd jeden frommen Evangelischen Christen, sie werden mich der eingeführten schweren Aufflagen halben, nach vernehmung meiner Gründlichen entschuldigung, günstiglich entheben, die jenige *Ministri* zwar, welche mich bißhero nicht zu jhrer *Communion* gelassen, sich eines andern besinnen, die Zuhörer aber im widerigen fall, zwischen den offenbaren hindernussen, so auff

[S. 29 D3]

seitt deß Predigampts *prætendirt,* vnnd zwischen denen so etwa sonsten auff meiner seit als mutwillig verursachet, geargwohnet werden möchten; guten vnderscheid machen, vnnd dieses streits halben mit mir, oder vielmehr mit meinem glück mitleidenliche gedult tragen, mich jhnen in jhrem Gebet zu Gott vnd zu Brüderlicher Lieb befohlen sein lassen, auch sich zu mir keines andern versehen.

Der Ertzhirt vnserer Seelen, der als das Haupt, vnder die Glider seines Leibs, welcher ist seine Gemeind, mancherley Gaben vnd *gradus* deß Verstandes, nach dem Er will, außtheilet welcher auch nach seinem allzeit guten wolgefallen diese differentz verhenget, der woll vns beyderseit gnediglich verleihen, das solche ja nicht zu zerstörung deß gemeinen Nutzens gereiche, sondern das vielmehr das jenige, was auff jeder seit gut, zu erbawung desselben, seinen fortgang gewinne, das widerige aber gedempfft werde, vnnd hierdurch auß vnderschiedlichen Gaaben, ein Geist der Liebe zuerkennen seye, Nach außweisung deß Hellklingenden Spruchs Sanct Pauli, Die Liebe ist Langmühtig vnnd Freundlich, die Lieb eyfert nicht, die Lieb treibt nicht mutwillen, sie blähet sich nicht, sie stellet sich nicht vngebärdig, sie suchet nicht das jhre (ihren Ruhm) sie lesset sich nicht erbittern, sie rechnet nicht das zugefügte vbel, sie frewet sie nicht vnbilligkeit zuerweisen, sie erfrewet sich [S. 30] aber vber der Warheit, sie vertregt alles, sie trawet alles, sie hoffet alles, sie duldet alles. Der Gott deß Fridens, der die Liebe selber ist, sey mit vns allen, vnd bewahre vns in der Liebe auff die selige Offenbarung seines Sohns, vnsers HErren JEsu Christi,

A M E N.



Inhaltsübersicht des Keplerschen Glaubensbekenntnisses.

Die Gliederung der Keplerschen Schrift ist in der Einleitung derselben, im zweiten Absatz auf Seite 4 [S. 4] enthalten und weiterhin in den Randvermerken zum Ausdruck gebracht. Wir stellen diese Disposition hier zusammen:

Einleitung.

Abschnitt 1.

Abschnitt 2.

Abschnitt 3.

Abschnitt 4.

Abschnitt 5.

Beschluß.

Anmerkungen und literarische Notizen.

Einleitung.

Zu Seite 3.

Wir fügen den zu Anfang gegebenen Zitaten auf die „Confessio" noch eine bemerkenswerte Stelle zu aus dem Briefwechsel zwischen Kepler und dem Danziger Mathematiker und Mediziner P. Crüger. Kepler schreibt an diesen am 28. Februar 1624[1]) über seine Kontroverse mit den Stuttgarter Theologen, nach einer allgemeinen Betrachtung über die theologischen Kämpfe der Zeit:

„Lites quidem sunt mihi cum animalis vitulo" — in diesem Brief wie schon früher im Prognosticum auf die Jahre 1618/19 spricht Kepler von den verschiedenen sich bekämpfenden Anschauungen der Theologen als einem „animal generis neutri"[2]) — „quarum ecce hic adjectum documentum. At scito, hanc controversiam privatam, nequaquam mihi causam ominandi praebuisse, etsi audaciam forte dedit, quae alias sentio, palam scribendi."

Crüger antwortet hierauf (15. Juli 1624[3])):

„De animali generis neutri gratias habeo. Quaedam video, sed quasi per nebulam et paulo clarius per istam fidei confessionem."

Dann zeichnet er den Grundgedanken, der Keplers confessio beseelt, mit den trefflichen Worten:

„De cetero plane tecum sum nec theologiam in verbis et altercationibus, sed in informatione ad christiane vivendum censeo positam."

In einem Brief des Tübinger Professors Wilhelm Schikhart aus dem Jahre 1624 endlich ist die confessio erwähnt mit der Bemerkung[4]):

„Gratias magnas pro Calendario et confessione. Saxonici Theologi fecerunt, ut nostris jam non vacet, tua haec vellicare."

---

[1]) Hanschius, J. Keppleri aliorumque Epistolae mutuae, Epist. No. 295, pag. 472; Opera omnia, vol. VIII, 2, pag. 886.

[2]) „Prognosticum auf das 1618 und 1619 Jahr". Opera omnia, vol. I, pag. 486 und pag. 658; „Discurs von der großen Conjunction 1623". Opera omn., vol. VII, pag. 711; „Astron. Bericht von zweyen Finsternissen im Jahre 1620". Opera omn., vol. VIII, 1, pag. 18.

[3]) Hanschius, Epist. mutuae, No. 296, pag. 477/78; Opera omn., vol. VIII, 2, pag. 886/87.

[4]) Hanschius, Epist. mutuae, No. 464, pag. 684; Opera omnia, vol. VIII, 2, pag. 887.

Zu Seite 5, Zeile 10 v. u.

Breitschwert hält die in dem Seite 4 erwähnten Briefe von Kepler an Bernegger erwähnte „Apologia" irrtümlicherweise für eine Rechtfertigungschrift, in welcher Kepler sich entschuldigt, daß die damals abgeschlossen vorliegenden Rudolphinischen Tafeln noch nicht im Druck erschienen (man vgl. Breitschwert, J. Kepplers Leben und Wirken. Seite 158). Abgesehen davon, daß kein Grund vorgelegen hätte, eine solche Schrift anonym erscheinen zu lassen, ist durch die auf Seite 4 und 5 gegebenen Ausführungen die Identität der in jenem Brief citierten Schrift mit dem vorliegenden Glaubensbekenntnis unzweifelhaft nachgewiesen.

Glaubensbekenntnis.

Einleitung. Seite 13—16.

Zu Seite 13, Zeile 8. v. o.

„Denn die Kinder dieser Welt sind klüger denn die Kinder des Lichtes in ihrem Geschlechte." Evangelium S. Lucä, 16. 8.

Zu Seite 13, Zeile 5 v. u.

Evang. Mathäi, 7, 6 (Bergpredigt).

Zu Seite 13, letzte Zeile [S. 4].

Kapitel 3 und 4 der ersten Epistel S. Pauli an die Korinther behandelt „Warnung vor Spaltung über den Lehrern, die doch nur Diener sind; Herr und Grund des Heils ist Christus" und „Der Apostel Amt und Niedrigkeit."

Im besondern bezieht sich Kepler auf die Verse 3—5 des 4. Kapitels:

„Mir aber ist's ein Geringes, daß ich von euch gerichtet werde oder von einem menschlichen Tage; auch richte ich mich selbst nicht."

„Denn ich bin mir nichts bewußt; aber darinnen bin ich nicht gerechtfertigt; der Herr ist's aber, der mich richtet."

„Darum richtet nicht vor der Zeit, bis der Herr komme, welcher auch wird ans Licht bringen, was im Finstern verborgen ist, und den Rat der Herzen offenbaren; alsdann wird einem jeglichen von Gott das Lob widerfahren."

Zu Seite 15, Zeile 15 bis 36 [S. 5/6].

Stellungnahme gegenüber der Augspurgischen Confession.

Kepler bekennt sich hier ausdrücklich zu den „Artikeln des Glaubens und der Lehr" der Augspurgischen Confession. In bemerkenswerter Weise lehnt er dagegen „red und antwort" ab bezüglich der „persönlichen Bezüchtigungen", welche in den Artikeln, „von welchen Zwispalt ist, in denen erzelet werden die Mißbreuch, so geendert seind" enthalten sind und die in der „Apologie der Confession" weiter ausgeführt sind.

Der Schluß des Absatzes erinnert an die bekannte Stelle aus dem Brief Keplers an den Kanzler Herwart von Hohenburg vom 16. Dezember 1598, aus jener drückenden Zeit der Gegenreformation in Graz:

„Christianus sum, Augustanam confessionem ex institutione parentum, ex rationibus saepius ad trutinam revocatis, ex tentationum quotidianarum exercitiis hausi, hanc amplector, simulare non didici, seria in religione tracto, non ludicra, quare et serio de religionis exercitio, sacramentorum usu satago. Quid autem? Ejecti sunt hisce provinciis, quibus internunciis hactenus cum Deo egi, quibus aliis agere possem cum Deo, ii non admittuntur.“...[1])

Zu Seite 15, Zeile 2 v. u. bis S. 16, Z. 22 v. o. [56/7].

Stellungnahme gegenüber dem Concordienbuch.

Es sei hier an die folgenden Daten erinnert:

Kepler ist am 27. Dezember 1571 geboren. In die Jahre 1574/75 fällt die Abfassung der „Schwäbisch-sächsischen Concordie“ durch den Tübinger Kanzler Jacob Andreä; 1576 entstand das „Torgische Buch“, das dann zu der die streng lutherische Lehre zusammenfassenden „Concordienformel“ führte. Die Hauptausgaben des Concordienbuches“ sind 1580 in Dresden und Tübingen erschienen.

Kepler bezieht sich auf die Ausführungen des VIII. Artikels (des dritten in der Augsburgischen Confession) „Von der Person Christi“, in den beiden Teilen der Concordie: „Summarischer Begriff, der streitigen Artickel, zwischen den Theologen Augspurgischer Confession ... christlich erkläret und verglichen“ und „Gründliche .. widerholung und erklärung etlicher Artickel Augspurgischer Confession ...“

Man sehen hiezu H. Heppe, „Geschichte der lutherischen Concordienformel und Concordie.“ 2 Bände. Marburg 1857/59.

Abschnitt I. „Ableinung dess Verdachts .. als wöll ich mit der Singularitet gesehen sein“.

Zu Seite 18, Zeile 12 u. f. v. o. [S. 9 B]. „Seind nunmehr 25 Jahr.“

Von der „vor zwaintzig Jahren zu Grätz geübten discretion“ Keplers geben die Briefe an seinen Lehrer Mästlin und an den bayrischen Kanzler Herwart von Hohenburg beredtes Zeugnis. Man vgl. das schon oben (S. 38) angeführte Schreiben an Herwart, wie die weiteren in Bd. VIII, 2, pag. 700 ff. angezogenen Briefe.

Zu Seite 18, Zeile 8 v. u. [S. 9 B].

Vergleiche die erste Epistel S. Petri. Kap. 2, V. 12 u. 19, 20, sowie Kap. 3, V. 16, 17 und Kap. 4, V. 13—15.

Kap. 3, V. 16 u. 17 lautet:

„Und habt ein gut Gewissen, auf daß die so von euch afterreden als von Uebelthätern, zu Schanden werden, daß sie geschmähet haben euren guten Wandel in Christo.“

„Denn es ist besser, so es Gottes Wille ist, daß ihr von Wohlthat wegen leidet denn von Uebelthat wegen.“

Das Wort „*αὐτοκατακριτος*“ ist in der vorliegenden Bedeutung gebraucht in der Epistel S. Pauli an Titus, Kap. 3, V. 11, „Wisse, daß ein solcher verkehret ist und sündigt, als der sich selbst verurteilt hat.“ Die wenigen Stellen, in denen das Wort überhaupt gebraucht ist, siehe im Thesaurus graecae linguae von Stephanos-Dindorf.

---

[1]) Opera omnia, vol. VIII, 2, S. 701, 702.

Abschnitt 2. „Ableinung dess Verdachts von verachtung der H. Sakramenten." Seite 19.

Erste Epistel S. Pauli an die Korinther. Kap. 11, V. 24.

Abschnitt 3. „Ableinung dess Verdachts von zweiffel in Glaubenssachen." Seite 19—22.

Zu Seite 20, Zeile 8 v. u. bis Seite 21, Zeile 10 v. o. [S. 12].

Erste Epistel S. Pauli an die Korinther.

Kap. 1, Vers 11—13.

„Denn mir ist vorkommen, lieben Brüder, durch die aus Chloes Gesinde von euch, daß Zank unter euch sei."

„Ich sage aber davon, daß unter euch einer spricht: Ich bin Paulisch; der andre: Ich bin Apollisch; der dritte: Ich bin Kephisch; der vierte, ich bin Christisch."

„Wie? Ist Christus nun zertrennet?" ...

Kap. 3, Vers 3, 4, endlich

Kap. 11, Vers 18, 19.

„Zum ersten, wenn ihr zusammenkommt in der Gemeine, höre ich, es seien Spaltungen unter euch; und zum Teil glaube ich's."

„Denn es müssen Rotten unter euch sein, auf daß die, so rechtschaffen sind, offenbar unter euch werden."

Zu Seite 21, Zeile 18 v. u. ff. [S. 13 B_3].

Die in diesem Abschnitt niedergelegte Kritik der Theologenstreitigkeiten wird ergänzt durch eine andere, die Kepler in dem 1621 herausgegebenen „Astronomischen Bericht, von zweyen im abgelauffenen 1620. Jahr gesehenen Mondsfinsternussen" gegeben hat. Dort heißt es (Opera omnia, vol. VIII, 1 pag. 19):

„Ich dörffte es schier wagen vnd prognosticiren, daß es abermahlen newen vnd großen ärgerlichen Streit zwischen Theologis, die für einerley meynung gehalten werden, abgeben, oder die jetzschwebende zu großer weitläuffigkeit gerathen werden, wann mir nicht zumahl das herzunahende trübe Vngewitter, welches alle theile vnderm Tach vnd in ihrer gewarsame halten möchte, vnd billich solle, mehr dann gnug im Gesicht were. Allein mögen die trewn Hirten einen weg als den andern wol auffsehen, vnd den Geist der Fürwitzigen Newerung, Trennung vnd vnnöthiger Vrtheilung in acht nehmen, dann er schläffet nimmermehr. Wann es lauter heyliger Eyfer vnd von Gott were: so wurde es nicht so offt geschehen sein, daß wann in einem Land in Politischen Sachen ein Zwispalt, oder vneinigkeit zwischen Fürstlichen Gebrüdern oder Befreundten entstanden, gemeiniglich sich auch ein newer Religionhandel drunter gemischt."

Zu Seite 21, Zeile 13 v. u. [S. 13 B_3].

Erste Epistel S. Pauli an die Korinther.

Kap. 7, Vers 23.

„Ihr seid teuer erkauft; werdet nicht der Menschen Knechte."

und Kap. 6, Vers 20.

Zu Seite 21, Zeile 7 u. ff. v. u.

Offenbarung S. Johannis des Theologen.

Kap. 3, Vers 15, 16.

„Ich weiß deine Werke, daß du weder kalt noch warm bist. Ach, daß du kalt oder warm wärest!“

Weil du aber lau bist und weder kalt noch warm, werde ich dich ausspeien aus meinem Munde.“

Abschnitt 4. „Ableinung der Vnbestendigkeit vnd Newerung.“ Seite 22 bis 31.

Aus den folgenden Darlegungen Keplers ersieht man unmittelbar den Einfluß der kirchenhistorischen und kritischen Literatur jener Zeit für die Auffassung der religiösen Fragen.

Kepler bezieht sich zunächst auf die Werke zur evangelischen und katholischen Kirchengeschichte, nämlich auf die von Matthias Flacius Illyricus ins Leben gerufenen Magdeburger Zenturien (S. 29 unten), „Ecclesiastica historia secundum singulas Centurias . . . per aliquot studiosos et pios viros in urbe Magdeburgica“ (1559—1574 erschienen) und die als Gegenwerk zu diesen zu Rom in den Jahren 1588—1607 in zwölf Bänden herausgegebenen „Annales ecclesiastici a Christo nato ad annum 1198“ des späteren Kardinals Cäsar Baronius, sowie den von dem gelehrten Genfer Sprachforscher Isaac Casaubonus dazu verfaßten Kommentar „Isaaci Casauboni de rebus sacris et ecclesiasticis exercitationes XVI ad Cardinalis Baronii prolegomena in Annales et primam eorum partem, de D. N. Jesv Christi Natiuitate, Vita, Passione, Assumptione. Cum prolegomenis auctoris, in quibus de Baronianis annalibvs candide disputatur. Genevae 1663.“

Andererseits sind die Namen von Thomas Cranmer (S. 29) und Marcus Antonius de Dominis an die Entstehung und Entwicklung der anglikanischen Kirche unter Heinrich VII und Eduard VI von England sowie unter Jacob I von Großbrittanien und Irland geknüpft. Bezeichnend für das Aufsehen, welches das Werk „De Republica ecclesiastica libri X“ (1617—1622) des Antonius de Dominis in Deutschland hervorrief, ist das genaue Eingehen Keplers auf seinen Inhalt und das Hervorheben der Beziehung desselben zu seinen Prognosticis aus dem Jahre 1606.

Zu Seite 23, Zeile 3—30 [S. 14/15].

Herangezogen sind aus den Exercitationes des J. Casaubonus die

„Exercitatio XIV“, 4: Episcopi dicti Apostoli: successores et vicarii Apostolorum.“ pag. 227 ff. und die

„Exercitatio XVI“, 43, 31 u. 36: „Mysterium Sacramentum. Origo vocis mysterium.“ pag. 477 ff. — „Coena Domini“ pag. 450 ff. — und „Corpus Christi“ pag. 461 ff.

Zu Seite 23, Zeile 8 u. ff. v. u. [S. 15 u. ff.].

Marcus Antonius de Dominis, in Dalmatien 1566 geboren, trat 1579 in den Jesuitenorden ein, wurde 1596 Bischof, dann Erzbischof von Spalata. Der Ketzerei beschuldigt, entfloh er 1616 nach England, wo er zur anglikanischen Kirche übertrat und von König Jacob I zum Bischof eingesetzt wurde. Trotz der Warnung seines königlichen

Beschützers kehrte er nach Rom zurück, hauptsächlich auf Zureden seines früheren Mitschülers, des Papstes Gregor XV. Wiederholt der Ketzerei beschuldigt, starb er im Gefängnis (1624). Sein Leichnam wurde auf Befehl der Inquisition öffentlich verbrannt.

In London verfaßte er das schon oben erwähnte Werk „De Republica ecclesiastica libri X", dessen ersten vier Bücher in London 1617 erschienen sind, Buch 5 und 6 wurde 1620 in London, die Bücher 7—10 in Deutschland, in Hanau 1622 gedruckt. Das Werk ist Jacob I gewidmet. Die Vorbemerkungen zum ersten Teil enthalten die Gesamtübersicht über den Plan des Werkes, auf die sich auch Kepler bezieht. Weiter hat A. de Dominis im ersten Abschnitt einen schon vorher gesondert veröffentlichten Bericht über die Gründe seines Austritts aus der Kirche und seiner Flucht nach England niedergelegt. Die Münchener Staatsbibliothek besitzt außer der lateinischen (von 1616) auch zwei wesentlich verschiedene deutsche Ausgaben dieses Berichtes, ohne Ortsangabe, aus dem Jahre 1617. Wir führen den Titel der einen Schrift an:

„Gründlicher Bericht Herrn Marci Anthonij de Dominis, Spalatenser Ertzbischoffs, etc. In welchem er anzeiget, was ihn bewogen vom Bapsthumb abzutretten vnd auß seinem Ertzbisthumb vnd Welschland zu weichen. Erstmahls von ihm in Latein beschrieben, Jetzo aber in das Teutsche vbersetzt."

Ebenso sind auf der Münchener Bibliothek zwei Ausgaben (eine lateinische und eine deutsche) der ursprünglich in Rom (1622) erschienenen Widerrufungsschrift vorhanden, in Dillingen 1623 erschienen, auf welche Kepler (Seite 28 des Textes) hinweist. Die deutsche Ausgabe führt den Titel:

„Marcus Antonius de Dominis Archiepiscopus Spalatinensis zeigt an und erkläret seine bewegliche vrsachen, warumb er auß Engelland von der falschen, widerumb zu der wahren vnd allein Seligmachenden Catholischen Römischen Kirchen getretten sey. Von dem Authore selbst Lateinisch beschrieben, vnd nachmals, vilen jrrenden zu guttem, in die Teutsche Sprach versetzt, durch Thomann Vitum, Fürstlichen Augspurgischen Registratoren zu Dillingen. Getruckt zu Dillingen, in der Academischen Truckerey bey Ulrich Rem. MDCXXIII."

Am Schluß der Schrift sagt Antonius:

„Utinam mihi quoque detur et opportunitas et gratia, sanguine ipso foeditates meas diluendi et veritates attestandi Catholicas, quas ubi atramentum me deficeret sanguine ipso . . . obsignare sum paratissimus."

Darauf beziehen sich wol die Bemerkungen Keplers auf Seite 29, Zeile 7 u. ff. des vorliegenden Textes. Der Wunsch freilich ist entgegen Keplers Vermutung in Erfüllung gegangen.

Für weiteres sei verwiesen auf die betreffenden Artikel in Hauck, Realenzyklopädie für protestantische Theologie und Kirche; Wetzer und Welte, Kirchenlexikon oder Enzyklopädie der katholischen Theologie und ihrer Hülfswissenschaften und H. Hurter, Nomenclator Literarius recentioris theologiae catholicae, Innsbruck 1892.

Zu Seite 23, Zeile 3 v. u. [S. 16].

Die beiden erwähnten Schriften Keplers sind:

„Gründtlicher Bericht von einem vngewohnlichen Newen Stern, welcher im Oktober diß 1604. Jahrs erstmahlen erschienen". Prag 1605.

Opera omnia, vol. I, pag. 473—478 und

„De stella nova in pede serpentarii, et qui sub ejus exortum de novo iniit trigono igneo." Pragae 1606.

Opera omnia, vol. II, pag. 609—750.

Zu Seite 24, Zeile 3 v. o. u. ff. [S. 16].

Das frei übersetzte Zitat ist abgekürzt und umgestellt aus Seite 177 ff. des lateinischen Originaltextes des Buches „De stella nova". Opera omnia, vol. II, pag. 723 unten und pag. 724.

Zu Seite 25.

In dem hier vorliegenden Hinweis auf sein aus dem Trigonus igneus geschöpftes Prognosticum, das Kepler auf Seite 209 u. ff. seiner Abhandlung „De stella nova" zusammengefaßt hat, sind alle auf die spezielle Deutung der Constellationen der Gestirne bezüglichen Stellen des ursprünglichen Textes unterdrückt. Auch ist es charakteristisch für Keplers Auffassung, daß das Zitat mit den Worten (Seite 25, Z. 9 v. u.) schließt: „Nun laß ich einen jeden nach seiner Profession oder Wissenschafft vrtheilen, ob ich diß so gar genau ins Himmelslauff gefunden, vnd auß anleitung sonderer Kunst schließen könden, oder ob ich auß meinem eigenen Kopff vnd Wunsch geredt, vnd die himlische Vmbstände, nur allein als gleichsam an statt eines Alphabets gebraucht habe."

Kepler unterläßt jetzt offenbar absichtlich die früher hervorgehobene Beziehung zu astrologischen Anschauungen. Ganz kann er sich aber auch hier nicht von diesen frei machen, wie der Nachsatz „Es sey aber eins oder das ander . . . ." zeigt; doch klingt dabei die gutmütige Ironie an, die Kepler stets bei der Behandlung astrologischer Themata bereit hat.

Wir fügen das angeführte Prognosticum,[1]) auf das auch noch im folgenden Text im einzelnen Bezug genommen wird, ein, wobei wir die im Text des Glaubensbekenntnisses zitierten Stellen durch gesperrten Druck kenntlich gemacht haben.

„Quodsi cui stellam hanc lubet ad nostras Europaeorum trahere contentiones: equidem fiet capitulatio omnium fere conjecturarum, quas hactenus recensui. Nam Sagittarius repraesentabit ecclesiam Dei (posito quod Deus in significando utatur conceptibus astrologorum, quod non omnes tamen concedent egoque haesitanter suppono), tam astronomice, quia in quo signo congrediuntur hodie planetae, in eo signo initium est trigoni ignei, quam astrologice, quia Sagittarius est domus Jovis. Et quia conjunctio Jovis et Martis turbulenta est et stella paulo ante illos junctos stetit quoad diem et locum; et Sagittarius triplicitas habetur Martis et Solis: itaque maximarum contentionum novationem, et ut cum Röslino loquar καταστροφην, forte et novam sectam, ut astrologi ceteri suggeserunt, significat; et quia stella antecedit illos in die et loco tam longitudinis quam latitudinis, ideo quietem post rixas pollicetur; et quia stella stetit prope viam regiam planetarum, id innuit confusionis et exorbitationis abrogationem et ordinis reductionem; quod alii de reditu ad catholicam ecclesiam, alii de simplicitate cultuum apostolica accipient. Et quia tunc fuit initium ignei trigoni, qui nobilitatus est

[1]) In der Originalausgabe der „Stella nova", Seite 209 ff.; Opera omnia, vol. II, pag. 747, 748.

praecipuis rerum gestarum articulis, ut creatione mundi, nativitate Christi (vide cap. VII et Tychonem Braheum in conclusione Progymn., fol. 805), ideo significatur aliqua revocatio ad principia Christianitatis. Et quia stella fuit altior Jove et Marte, et cum illis, quorum ille pompam, fastum, auctoritatem, hic inquietudinem, pugnas, rixas, seditiones, furorem vulgi et impetus temerarios significat: ideo significatur aliquid his duabus partibus contrarium. Et quia stella non fuit cum Saturno: nulla ergo imminet molitio contra res Saturnias; sed quia fuit cum illo consentiens in latitudine, ea re adumbratur nobis Saturniarum rerum victoria, nimirum antiquitatis, constantiae, consilii, prudentiae, severitatis, parsimoniae. Restaurabitur publico concilio disciplina ecclesiastica; non permittentur amplius concionatores scribere prognostica fidemque et existimationem ordinis hac vanitate labefactare; emendabitur ecclesia; tolletur libertas juvenilis disputandi, calumniandi; refrenabitur furor populi, valebit *ἀριστοκρατια* collegiorum; coercebitur pompa, luxus, superbia *των μοναρχεντων*; quod et Braheus fol. 802 ex sua stella deduxit: in summa, Jovialia erunt mediocria, Martialia deterrima, Saturnus praevalebit. Et quia fuit idem ordo quatuor stellarum latitudine, qui est re vera in mundo sphaerarum, ideo sperari potest emendatio maxime consentanea rerum naturae. Atque haec est illa clarissimae et flagrantissimae stellae amoenitas ab omnibus passim commendata; nisi quod paulo plus ruboris, cum esset humilis, prae se tulit: unde conjicias, initia ad tantos successus difficilia, turbulenta et sanguine purpurata futura, finem vero pulchrum. Nimirum sic etiam illam stellam anni 1572. interpretati sunt nonnulli: incensam esse novam lucem in spem piorum, qui passim maximis calamitatibus circumventi gemebant. Addent aliqui et tempus; nimirum quia sexagesimo die post exortum stellae Saturnus ad Novam venit, rata igitur futura ista post annum sexagesimum. Et quia tunc Sol quoque praesens fuit Saturno et Novae, ratificatio haec multum habebit solennitatis eritque abscondita ab oculis vulgi et tractabitur per literatos: non in conventu aliquo publico et valde conspicuo, nisi forte paucorum, sed per literas.“

Zu Seite 29, Zeile 17 v. o.

Brief S. Pauli an die Römer, Kap. 3, Vers 7, 8.

Zu Seite 29, Zeile 24 v. o. [S. 23].

Die Schriften des durch seine Stellung zu Heinrich VIII. und Eduard VI. von England und durch seinen Anteil an der Begründung der Anglikanischen Kirche bekannten Erzbischofs von Canterbury, Thomas Cranmer sind 1844—46 in zwei Bänden von der Parker Society durch Rev. J. E. Cox, M. A. herausgegeben worden unter dem Titel:

„Writings and Disputations of Thomas Cranmer, archbishop of Canterbury, martyr 1556, relative of the sacrament of the Lords supper“ (1844) und

„Miscellanous writings and letters“ (1846).

Der „vmbschlag der sachen in Engelland“, von dem Kepler hier spricht, zielt einerseits auf die nach Eduard VI. Tod durch Maria Tudor erfolgte Zurückführung des Landes zum Katholizismus, bei welcher unter Erneuerung der Ketzergesetze Erzbischof Cranmer wie seine Genossen Ridley und Latimer zum Tod auf dem Scheiterhaufen verurteilt wurden. Andererseits bezieht sich Keplers Bemerkung auf die schwankenden politischen und religiösen

Verhältnisse in den unter Jacob I. vereinigten Reichen Schottland und England; freilich neigte der in der presbyterianischen Kirche erzogene König zur Episkopalkirche und begünstigte insbesondere auch, wie schon oben erwähnt, seinen Bischof Antonius de Dominis.

Zu Seite 30, Zeile 4 v. o. u. ff. [S. 24].

Man vergleiche das Schlußkapitel „De significationibus Cometarum anni 1619“ in den 1619 in Augsburg gedruckten:

„De Cometis libelli tres. III. Astrologicus (sc. liber), de significationibus Cometarum annorum 1607 et 1618.“

Opera omnia, vol. VIII, pag· 129—137.

Weiter enthält analoge Ausführungen das 1619 gedruckte:

„Prognosticum von allerhandt bedraulichen Vorbotten künftigen Übelstands in Regiments- vnd Kirchensachen sonderlich von Cometen vnd Erdbidem auf das 1618. vnd 1619. Jahr.“

Opera omnia, vol. I, pag. 479—494 und die 1621 veröffentlichte Schrift:

„Astronomischer Bericht von zweyen im abgelauffenen 1620. Jahr gesehenen großen vnd seltzamen Mondsfinsternussen.“

Opera omnia, vol. VIII, 1, pag. 1—20.

Abschnitt 5. „Wiefern die Ausschliessung eine Verfolgung zu nennen“ und „Wz gestalt die Ministr der verfolgung halber zu entschuldigen“. Seite 31 bis 33.

Der von Kepler hier hervorgehobene Gegensatz seiner eigenen „Verfolgung“ durch den Pastor Hizler, der ihm auf Grund seiner streng lutherischen Auffassung das Abendmahl verweigerte, gegenüber der Verfolgung und Vertreibung der evangelischen Gemeinden, die Kepler in Graz und Linz mit erduldet, und damit die Hochherzigkeit des Urteils von Kepler gegenüber seinem Pastor, dessen Verhalten er respektiert, tritt noch stärker hervor, wenn man aus dem Briefwechsel Keplers erfährt, daß er mit Hizler in persönlichem Verkehr geblieben. Man vergleiche hiezu die Briefe von W. Schikhart an Kepler, welche mehrfach Grüße und Empfehlungen an Hizler enthalten. Hanschius, Epistolae mutuae pag. 679, 682, 683.

Beschluss. Seite 33, 34.

Erste Epistel S. Pauli an die Korinther, Kap. 13, 10, 4—7.



Abhandlungen
der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
XXV. Band, 10. Abhandlung

Ueber die Entwicklung des Visceralskelettes bei Testudo graeca.

I. Die Entwicklung des Kiefer- und des Zungenbeinbogens (Columella auris) und der Paukenhöhle

von

Otto Bender

Mit 7 Tafeln und 15 Abbildungen im Text

(Aus dem Anatomischen Institut der Universität München; Direktor: Prof. Dr. Rückert)

München 1912
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



Den Vorgängen am Kiefer- und Zungenbeinbogen, welche mit der Herkunft und Entwicklung des schalleitenden Apparates und der Paukenhöhle der Quadrupeden zusammenhängen, ist man bereits in einer großen Anzahl von Arbeiten nachgegangen. Gerade die Klasse der Schildkröten aber stand bis vor kurzem fast ganz außer dem Bereich analoger morphologischer Betrachtungen. Erst in letzter Zeit beginnt man den Cheloniern mehr Beachtung zu schenken, jedoch liegt den bis jetzt vorhandenen Untersuchungen nur ein beschränktes Material zu Grunde, in welchem nicht alle Stadien von weitergehender morphologischer Bedeutung zur Beobachtung gelangt sind. In engstem Zusammenhang mit der Ableitung des schalleitenden Apparates der Reptilien und seinen Beziehungen zu den analogen Bildungen der Säuger steht die Frage nach dem Verhalten des Kieferbogens. Gaupp[1]) hat erst kürzlich wieder darauf hingewiesen, welche Beachtung die Gestaltung des Kieferbogens der Reptilien und seiner Beziehungen zum Schädel zum Vergleich mit Säugerzuständen verdienen. Somit stellte ich mir zur Aufgabe, die Entwicklung des gesamten Visceralskelettes von Testudo graeca zu berücksichtigen; der erste Teil dieser Untersuchungen liegt hier vor.

Im Anschluß an vergleichend morphologische Untersuchungen[2]) über die fragliche Kopfgegend bei erwachsenen Schildkröten beabsichtigte ich, bei Gelegenheit embryonales Schildkrötenmaterial für ontogenetische Untersuchungen, welche auf das gleiche Ziel hinausliefen, zu sammeln. Die Entwicklung des Visceralskelettes im allgemeinen, des Kieferbogens, des Zungenbeinbogens und seiner Beziehungen zur Bildung des Gehörknöchelchens, und endlich der Paukenhöhle im besonderen, sind in vorliegender Arbeit beabsichtigt. Daran sollen sich später Untersuchungen über die Entwicklung des Kehlkopfes anschließen.

Vorerst durch andere Untersuchungen abgelenkt, bot sich mir im Sommer 1909 eine sehr günstige Gelegenheit, das gewünschte Material zu sammeln. Mit einer namhaften Unterstützung durch die K. B. Akademie der Wissenschaften wurde es Herrn Privatdozenten Dr. Hasselwander und mir ermöglicht, während der Sommermonate 1909 einen längeren Aufenthalt in Ragusa zu nehmen, und möchte ich an dieser Stelle der K. B. Akademie der Wissenschaften für ihre freigebige Unterstützung wärmsten Dank sagen. Ganz besonders fühle ich mich auch Herrn Prof. Rückert, welcher die Reise befürwortete und mir ferner seit Aufgabe meiner Heidelberger Dozentur in liberalster Weise einen Arbeitsraum in seinem Institut zur Verfügung stellte, zu größtem Dank verpflichtet.

[1]) E. Gaupp, Die Verwandtschaftsbeziehungen der Säuger vom Standpunkte der Schädelmorphologie aus erörtert. Verhandlungen des VIII. Internationalen Zoologischen Kongresses zu Graz 1910.

[2]) O. Bender, Die Schleimhautnerven des Facialis, Glossopharyngeus und Vagus. Studien zur Morphologie des Mittelohres und der benachbarten Kopfregion der Wirbeltiere. In Semon, Zoologische Forschungsreisen etc. 1906/07.

Wir bezogen aus Süddalmatien und der benachbarten Herzegowina etwa 600 Exemplare von Testudo graeca und gewannen von diesen etwa 300 Embryonen aus allen Stadien der Entwicklung. Von diesen zerlegte ich 25 Exemplare zwecks Untersuchung der Skelettentwicklung in Serien. Diese bilden das Material der vorliegenden Abhandlung.

Die jüngsten Embryonen lassen die ersten Anfänge einer Konsolidierung des Visceralskelettes erkennen; die ältesten stehen dicht vor dem Ausschlüpfen und zeigen einen bereits weit vorgeschrittenen Ersatz des Knorpelskelettes durch Knochen. Da es sich hier um Erörterungen über primordiale Skeletteile handelt und die hier interessierenden Entwicklungsvorgänge schon beim Auftreten des reifen Knorpels im wesentlichen abgeschlossen sind, so sind natürlich die Stadien der Blastembildung und der Knorpelgenese besonders berücksichtigt worden, während diejenigen aus der beginnenden und der fortgeschrittenen Verknöcherung weniger eingehend behandelt worden sind. Speziell die Deckknochenbildung wird nur gestreift, soweit sie zur Bestimmung der Entwicklungsstufe, auf welcher sich die Skelettbildung im allgemeinen befindet, nötig ist, und soweit sie im einzelnen Falle topographischen Wert besitzt.

Alle von mir untersuchten Embryonen sind in Formolalkohol fixiert und mit Richtungslinie in Paraffin geschnitten; die Schnittrichtung ist meist horizontal, seltener quer. Ältere Stadien wurden vor der Einbettung in einer alkoholischen Kochsalz-Salpetersäurelösung nach Haug entkalkt. Die Schnittdicke beträgt durchweg 15 μ. Zur Färbung diente Hämatoxylin-Eosin. Es wurden ferner von der Kiefer- und Ohrgegend von 10 Embryonen Wachsplattenmodelle in 50 resp. 100facher Vergrößerung angefertigt, in welchen zunächst das Verhältnis der Visceralspalten untereinander, dann das der Bögen und Spalten zueinander zur plastischen Darstellung gelangte. Andere Modelle bezwecken eine vergrößerte Wiedergabe der sich formierenden Paukenhöhle und der Columella auris, wieder andere dienten vornehmlich dazu, einen Einblick in die Topographie der Nerven und Gefäße zu gewinnen.

Da es nicht möglich war, die Genese eines einzelnen Bogens oder einer Spalte ohne Berücksichtigung ihrer Beziehungen zur Nachbarschaft zu beschreiben, so mußte der gewöhnliche Weg beschritten und die Entwicklungsvorgänge an der Hand einzelner Stadien durchgegangen werden. Am Schluß finden sich dann Zusammenstellungen über einzelne Punkte, so über die Entwicklung des Kieferbogens, der Columella auris, des Mittelohrraumes u. a. m. Die Literatur wird nach Bedarf herangezogen werden, jedoch ist keine erschöpfende Besprechung derselben beabsichtigt, da sich eine solche bereits bei neueren Bearbeitern verwandter Temata findet (E. Cords,[1]) 1909, pp. 225—231).

Die Abbildungen im Text geben mikroskopische Schnitte wieder; die Tafelfiguren zeigen einesteils Bilder ganzer Embryonen bei Lupenbetrachtung, andererseits Wachsplattenmodelle.

Als Richtschnur zur annähernden Bestimmung des Alters der Embryonen diente, übereinstimmend mit Mehnert[2]), die Länge des Rückenschildes. Daß dieses Merkmal, wie auch andere, unter Umständen täuschen kann, und Embryonen mit kleinerem Rückenschild weiter entwickelt sein können, wie solche mit größerem, lehrte mehrfach die mikroskopische Betrachtung. Überhaupt ist die Variationsbreite innerhalb der Skelettentwicklung

---

[1]) E. Cords, Die Entwicklung der Paukenhöhle von Lacerta agilis. Anat. Hefte, Bd. 38, 1909.

[2]) E. Mehnert, Gastrulation und Keimblätterbildung der Emys lutaria taurica. Erster Teil einer Entwicklungsgeschichte der Emys lutaria taurica. Morphol. Arbeit I, 1892.

der Schildkröten offenbar beträchtlich. Da aber auch andere Merkmale in der Bestimmung des Alters oft irre führten, so wurde doch die Länge des Rückenschildes als eines der zuverlässigsten Daten zur Altersbestimmung beibehalten und durch andere Angaben, wie den Zustand der Extremitäten u. a., ergänzt.

Embryonen, bei welchen der Rückenschild noch nicht deutlich zu erkennen ist, zeigen noch die Visceralspalten auf der Höhe ihrer Entfaltung. Bei diesen beginnen sich die Skelettblasteme erst zu differenzieren, sie stellen also die jüngsten der hier herangezogenen Stadien dar und mit ihnen beginnt die Beschreibung.

Beschreibender Teil.

I. Visceralspaltenstadium.

3 Embryonen (Taff. I u. III).

Das Äußere zweier Embryonen wird durch die Figg. 1 u. 2 auf Tafel I veranschaulicht. Beide befinden sich in dem Stadium, in welchem die Visceralspalten noch vollkommen entwickelt sind. Dieses Stadium muß einer Untersuchung über die Ontogenese des Visceralbogensystems, im besonderen über die eventuelle Herleitung der Columella auris vom Zungenbeinbogen und der Paukenhöhle von Visceralspalten zum Ausgang dienen.

Zwei der Embryonen zeigen vier nach außen offene Visceralspalten. Der Rückenschild ist bei dem einen um weniges jüngeren Embryo noch nicht deutlich differenziert, bei dem anderen beträgt seine Länge etwa 4,6 mm. Die Extremitäten sind als kurze Stummel angelegt, bei letztgenanntem Embryo schon deutlicher gegliedert; es findet sich noch keine Spur von Phalangenentwicklung. Der Unterkiefer endigt beiderseits median mit zwei knopfförmigen Wülsten, dem äußeren Ausdruck dafür, daß die beiderseitigen Blasteme der Meckelschen Knorpel noch nicht in der Mittellinie vereinigt sind. In der dorsalen Verlängerung des Hyoidbogenwulstes sieht man bei dem etwas älteren Embryo eine kleine knopfförmige Erhebung, den im Entstehen begriffenen und bereits von mir beschriebenen Ohrknopf. Die Hyomandibularspalte ist hier schon bis auf eine nur mikroskopisch sichtbare Öffnung geschlossen; vom Kaudalrand des Hyoidbogenwulstes beginnt eine Gewebsfalte nach hinten über die Öffnungen der folgenden Visceralspalten nach Art eines Kiemendeckels hinwegzuwachsen. Diese Falte hat bei dem ältesten der drei Embryonen bereits die Öffnung der ersten Branchialspalte überlagert.

Die mikroskopische Untersuchung des jüngsten Embryos ergibt, daß die Blasteme der Visceralbögen erst in Form verschwommener Zellmassen in die Erscheinung zu treten beginnen, also erst am Anfang ihrer Differenzierung stehen. Eine Abgrenzung oder auch nur annähernde Bestimmung der Blasteme ist noch nicht möglich. In dem von diesem Embryo angefertigten Modell (Taf. III, Figg. 12 u. 13) sind deshalb auch nur die Spalten dargestellt, um über ihre Zahl, ihre Lage zueinander und zur Mundhöhle eine klare Vorstellung zu gewinnen. Zu dieser Zeit finden sich jederseits noch fünf Visceralspalten von verschiedenem Ausbildungsgrade vor, also die für Reptilien gewöhnliche Zahl. Über das erste Auftreten der Spalten in der zeitlichen Reihenfolge von oral nach kaudal ist in Anbetracht

des durch von Bemmelen,[1]) Maurer,[2]) Mitsukuri[3]) u. a. für Chelonier bereits Gesagten nichts Neues anzuführen. In dem hier vorliegenden Stadium zu Beginn der Blastemdifferenzierung sind die drei oralen Spalten (Hyomandibular-, erste und zweite Branchialspalte) noch nahezu vollständig ausgebildet. Die vierte Visceralspalte (dritte Branchialspalte) steht auf der linken Seite noch durch einen Epithelstreifen mit dem Ektoderm in Verbindung; auf der rechten mündet sie noch als haarfeiner Kanal nach außen. Diese Mündung liegt im Grunde einer Einziehung des Ektoderms; die innere Mündung ist weiter. Auch diese Visceralspalte kommt also bei Testudo graeca zuweilen noch zum Durchbruch. Die fünfte Spalte (vierte Branchialspalte) wird nur mehr als einfaches oder auch mehrbuchtiges blindes Anhängsel am Kaudalrand der vorigen angelegt; sie kommt wohl nie mehr zum Durchbruch, sondern existiert nur kurze Zeit als ein mit der vorigen Spalte kommunizierender Blindsack (Taf. III, Fig. 13).

Schon auf dieser frühen Entwicklungsstufe sehen wir in der Größe und der Stellung der Spalten zueinander und zur Mundhöhle kommende Veränderungen eingeleitet. Die Mundhöhle bildet jetzt einen breiten, in dorso-ventraler Richtung stark abgeplatteten Spalt, dessen Längsachse in gleichem Sinne gebogen verläuft, wie die hintere Kopf- und Halsgegend des Tieres. Die Visceralspalten hängen der Lateralkante der Mundhöhle in ziemlich gleichmäßigen Abständen an, ihre Längsachsen stehen im wesentlichen senkrecht zu derjenigen der Mundhöhle, sind aber mit Ausnahme der ersten Spalte leicht oralwärts konvex gekrümmt.

Die ersten Visceralspalten und -bögen erfordern eine besondere Besprechung für das vorliegende Thema.

An der Hyomandibularspalte fällt auf, daß sie in dorso-ventraler Richtung nur halb so lang ist, wie die folgenden Spalten; sie entspricht gemäß ihrer Ausdehnung und ihrer Orientierung zum Mundhöhlenlumen nur der Dorsalhälfte einer Visceralspalte. Die Ventralhälfte der Spalte ist also entweder zu dieser Zeit schon obliteriert oder wird gar nicht mehr angelegt (Taf. III Fig. 12). Auch die Verlaufsrichtung dieser Visceralspalte weicht insofern von den folgenden Spalten ab, als sie oralwärts konkav gekrümmt, und nicht rein medio-lateral, sondern von medial und oral nach lateral und kaudal gerichtet ist. Die äußere Mündung ist in dieser Zeit noch spaltförmig. Die innere Mündung ist weiter, wie die der folgenden Spalte und hat die Form eines im Sinne der ganzen Spalte gekrümmten Schlitzes, welcher auf dem Querschnitt sichelförmig erscheint; medial von ihrer Dorsalspitze verläuft die Vena capitis lateralis, medial und ventral von dieser die Arteria carotis. Der Schlitz führt von dorsal her in die Lateralkante der Mundhöhle hinein. Die ganze Spalte steht also dorsal vom Querdurchmesser der Mundhöhle; eine ventrale Aussackung fehlt ihr. Die drei folgenden Visceralspalten dagegen dehnen sich zur Hälfte noch ventral von der Mundhöhle aus. Durch die Rekonstruktion ist also nachgewiesen, daß die Hyomandibularspalte von Testudo graeca auch auf der Höhe ihrer

[1]) van Bemmelen, Die Visceraltaschen und Aortenbogen bei Reptilien und Vögeln. Zool. Anz. 1886.

[2]) F. Maurer, Die Entwicklung des Darmsystems. Handbuch der vergleichenden und experimentellen Entwicklungslehre der Wirbeltiere, herausgegeben von O. Hertwig, Bd. II, 1. Teil, 1906.

[3]) Mitsukuri, Arbeiten über die Keimblattbildung der Chelonier. Journ. Coll. Sc. Imp. Univ. Japan, Vol. I. Tokyo 1886, V 1891, VI 1893, X 1896.

Ausbildung nur der Dorsalhälfte einer Visceralspalte entspricht; das ist von Wichtigkeit für die Ableitung der Paukenhöhle.

Der Zwischenraum zwischen der Hyomandibular- und der ersten Branchialspalte ist größer, wie die folgenden Spaltensepten; dieser Unterschied ist durch die jetzt schon voluminösere Entfaltung des Hyoidbogenbezirkes bedingt. Skelettblasteme sind jedoch weder hier, noch in den anderen Septen schon abgrenzbar.

Die erste und zweite Branchialspalte gleichen einander noch sehr und sind am vollständigsten entwickelt; da sie sich ebensoweit dorsal, wie ventral vom Mundhöhlenspalt erstrecken, ist ihre Länge also doppelt so groß, wie die der Hyomandibularspalte. Die Spalten passen sich dabei mit ihrer Längsrichtung der walzenförmigen Krümmung der hinteren Kopfgegend an; jedoch nicht in paralleler Richtung. Beide Spalten konvergieren vielmehr gegen den Ventralbereich hin, so daß ihre untersten Winkel an der Ventralfläche des Koptes zu einem einfachen, nur noch flachen Spalt (Recesus ventralis von His) zusammenfließen; sonst aber sind die beiden Spalten ganz selbständig entwickelt. Ihre Einmündungen in die Mundhöhle sind schmäler und liegen entsprechend dem gekrümmten Verlauf des Schlundlumens etwas höher, wie die der ersten Visceralspalte. Ein Vergleich der äußeren Öffnungen bei den verschiedenen Embryonen zeigt, daß diejenige der ersten Branchialspalte bereits durch das beginnende Vorwachsen des Hyoidbogenwulstes nach hinten etwas kaudalwärts gedrängt ist, ein Vorgang, dessen weitere Phasen wir im folgenden beobachten werden. Das Gewebe des Hyoidbogens tritt also von Anfang an massiger auf, wie das des ersten Branchialbogens und beginnt alsbald durch seinen kaudalen Rand die äußere Mündung der ersten Branchialspalte in ihrer Richtung zu beeinflussen.

Von Gefäßen sind die Vena capitis lateralis und die Arteria carotis zu nennen. Erstere zieht, genau wie bei Lacerta-Embryonen dieses Alters, in oral-kaudaler Richtung über die Dorsalspitzen der Visceralspalten hinweg. Sie berührt dabei die mediale Kante der Dorsalspitze der Hyomandibularspalte; weiter hinten verläuft das Gefäß direkt über die Thymusknospen der Branchialspalten hinweg. Medial und etwas ventral zieht parallel mit der Vene die Arteria carotis.

Von Nerven ist der Facialis zu erwähnen, dessen Ganglion geniculi, kaudal und medial von der Hyomandibularspalte gelegen, von vorn den Ramus palatinus empfängt, welcher weiter oral mit der Arteria carotis verläuft. Nach kaudal und lateral entsendet das Ganglion den Ramus hyomandibularis. Dieser zieht unter der Vene hindurch in den Bereich des in der Differenzierung begriffenen Hyoidbogenblastems.

II. Auftreten von Skelettblastemen.

8 Embryonen (Taff. I—IV, Textfigg. 1—7).

Das nun folgende Entwicklungsstadium ist durch das Auftreten deutlich abgegrenzter Skelettblasteme charakterisiert. Embryonen dieser Kategorie liegen hauptsächlich einer vorläufigen Mitteilung[1]) über die Herkunft und Entwicklung der Columella auris zu Grunde.

Bei zunächst äußerlicher Betrachtung (Taf. I, Figg. 4—6, Taf. II, Fig. 7) erkennt man an diesen Embryonen einen deutlich abgegrenzten und meßbaren Rückenschild, dessen Länge

[1]) O. Bender, Über Herkunft und Entwicklung der Columella auris bei Testudo graeca. Anat. Anz., Bd. 40, 1911.

zwischen 5,5 und 6,2 mm schwankt. Die Extremitäten befinden sich durchschnittlich auf gleicher Stufe; sie sind in einen proximalen und einen distalen Abschnitt gegliedert, das Ende des letzteren ist ruderblattförmig verbreitet. Phalangenentwicklung fehlt noch bei allen. Die hintere Kopfgegend, die wir näher ins Auge fassen müssen, hat sich stark verändert. Offene Visceralspalten sind nicht mehr sichtbar. Statt dieser sieht man eine dicke Gewebsfalte, welche vom Hinterrand des Hyoidbogens kaudalwärts gewachsen ist und nacheinander alle folgenden Visceralspalten zugedeckt hat. Der aborale freie Rand dieser Falte steht etwa in der Höhe der sich früher hier öffnenden dritten Branchialspalte. Unter dem Rand der Falte gelangt man in einen gemeinsamen Vorraum der beiden ersten Branchialspalten, deren Verlauf und Form erheblich verändert sind, wie Schnittbilder (Textfigg. 6, 8 u. 9) und die Tafelfigg. 15 u. 18 zeigen. Bei allen oben angeführten Embryonen gewahrt man in der hinteren Verlängerung der Mundspalte dorsal von der Hyoidbogengegend die schon erwähnte knopfartige Erhebung. Dieser Ohrknopf (Taf. I, Figg. 4—6) erscheint bei Lupenbetrachtung nicht immer gleichförmig. Bei einigen Embryonen ist er von unten und hinten leicht eingekerbt und erscheint dadurch zweibuckelig, bei anderen ist keine Einkerbung vorhanden, aber auf der Wölbung des Knopfes findet sich eine haarfeine, längliche oder runde Öffnung, der Rest der äußeren Mündung der Hyomandibularspalte. Damit ist nicht gesagt, daß letztere Embryonen gerade die jüngeren seien. Es herrscht vielmehr in der Ontogenese der Visceralbögen und -spalten eine gewisse Unregelmäßigkeit. Es scheint keine allgemein gültigen Merkmale der äußeren Konfiguration der Embryonen zu geben, welche sich für die Beurteilung des Standes der Skelettentwicklung als stets zuverlässig erweisen ließen.

Das Skelett befindet sich ganz allgemein noch im Stadium der Blastembildung, an einzelnen Stellen setzt Vorknorpelbildung ein. Deckknochen fehlen noch ganz.

Über die Form des Kieferbogens ist ohne Herstellung von Modellen noch keine genaue Vorstellung zu gewinnen. Modelle aber können wegen der unscharfen Grenzen des Blastemes noch nicht angefertigt werden. Zunächst ist aus Schnitten nur zu ersehen, daß der ganze Bogen als einheitliches Blastem angelegt wird. Der orale, zum Meckelschen Knorpel werdende Abschnitt der Blastemspange ist schon früher abgrenzbar und beginnt sich auch zeitiger in Vorknorpel umzubilden, wie der dem Quadrat entsprechende Teil. Dieser tritt erst als ganz verschwommene Zellmasse von ungefähr ovaler Gestalt auf, deren Abgrenzung noch Schwierigkeiten macht. Zwischen den beiden Komponenten des Kieferbogens existiert zu dieser Zeit also noch keine Grenze, der Bogen ist noch nicht gegliedert, wie das von Kingsley[1]) für Saurier, von Noak[2]) auch für Emys angegeben worden ist. Am oralen Rand des Quadratblastems tritt eine in Form und Ausdehnung noch unklare Zellanhäufung auf, der Vorläufer des Processus pterygoideus quadrati.

Verfolgt man die Serien von dorsal nach ventral, so erscheint medial von der Dorsalkuppe des Quadratblastems die Vena capitis lateralis (Textfigg. 1—3, 6, 7). Etwas weiter ventral taucht zwischen der Vene und dem medial-kaudalen Rand des Blastems die Dorsalspitze der Hyomandibularspalte (Textfigg. 3 u. 6) auf; die Spalte hat sich in den meisten

[1]) J. S. Kingsley, The ossicula auditus. Tufts Coll. Stud. VI, Vol. I, 1894—1904.

[2]) Noak, Über die Entwicklung des Mittelohres von Emys europea nebst Bemerkungen zur Neurologie dieser Schildkröte. Arch. f. mikrosk. Anat., Bd. 69, 1907.

Fällen schon in eine Tasche umgewandelt, d. h. sie hat sich nach außen abgeschlossen und vom Ektoderm zurückgezogen, in dessen Nähe sie blind endigt (Textfigg. 3—6). Durch das Zurückweichen der Spalte vom Ektoderm wird die Trennung der im Bezirk des ersten und zweiten Visceralbogens sich bildenden Blasteme unvollständig, und so sieht man das Quadratblastem, welches lateral bis ans Ektoderm reicht, stellenweise mit den Zellmassen des Hyoidbogens (Extracolumellaanlage) konfluieren. Beide Blasteme zusammen beginnen jetzt das Ektoderm knopfförmig vorzuwölben.

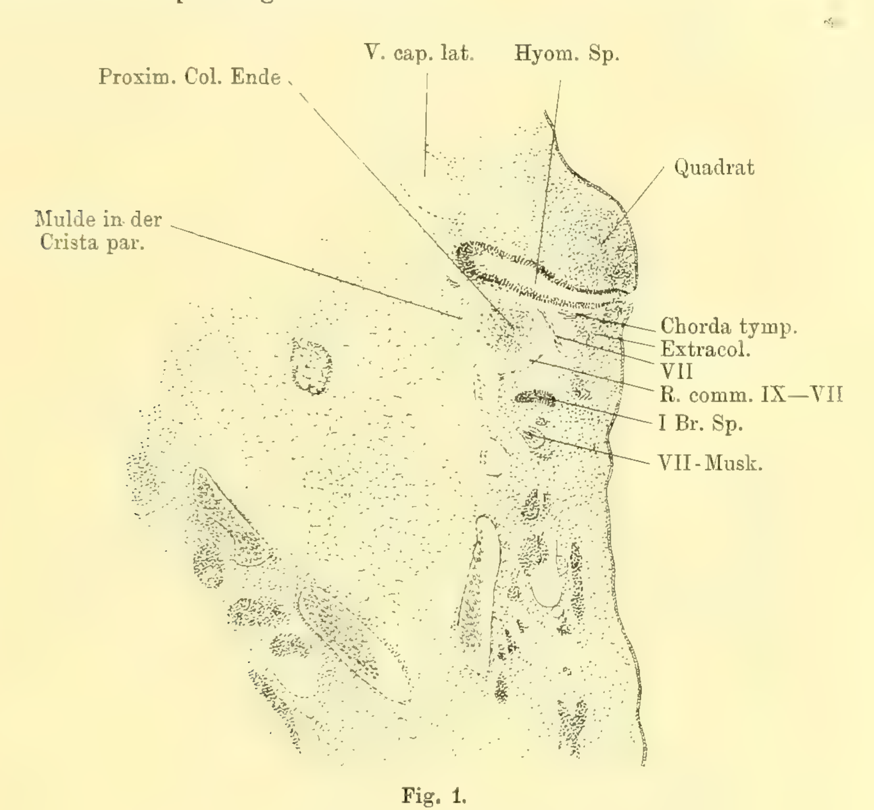


Fig. 1.

Embryo Z 1, Horizontalschnitt. L. 3, Oc. 1, M. T. Vergr. 2/3.

Die Hyomandibulartasche steht mit ihrer Längsachse jetzt noch schräger, d. h. sie hat sich noch mehr von oral und medial nach kaudal und lateral gedreht und trennt, wie erwähnt, die Blasteme des Quadrates und des dorsalen Hyoidbogenabschnittes, der späteren Columella auris, meist nicht mehr in ganzer Ausdehnung voneinander. Der laterale Teil der Spalte ist im Vergleich zum vorigen Stadium meist schon bis auf einen Epithelstreifen reduziert. Dieser äußere Teil der Spalte wird zwischen den massig sich entwickelnden Blastemen des Quadrats und der späteren Extracolumella gleichsam zusammengepreßt, und obliteriert. Der mediale Abschnitt der Tasche zeigt auf dem Querschnitt noch die beschriebene Sichelform (Textfigg. 3 u. 7) und hat an Ausdehnung eher zugenommen. Vornehmlich die Mündung am Dach der Mundhöhle ist weit und erfolgt noch in der ganzen Längenausdehnung der Tasche.

Parallel mit der Vena cap. lat. und unter ihr zieht der Nervus facialis längs der oralen Fläche der gleich zu beschreibenden Crista paotica, um sich dann unter der Vene hindurch über das Columellablastem hinweg nach hinten und außen zu wenden.

Wir kommen jetzt in den Bereich des Hyoidbogens und der Ohrkapsel. Die Ohrkapselanlage ist um diese Zeit noch sehr zellarm und verschwommen; sie steht auf einer erheblich früheren Entwicklungsstufe, wie die Columella auris. Das Blastem der Ohrkapsel ist erst an einer Stelle am ventralen und lateralen Rand, welche der übrigen Ohrkapsel in der Anlage etwas vorauseilt, konsolidiert. Hier hat das Blastem die Form eines niedrigen, stumpfen Kegels angenommen, welcher nach lateral und ventral gerichtet ist. Es handelt sich um die Anlage der Crista parotica (Textfigg. 2, 3 u. 6). Die Basis des Kegels geht

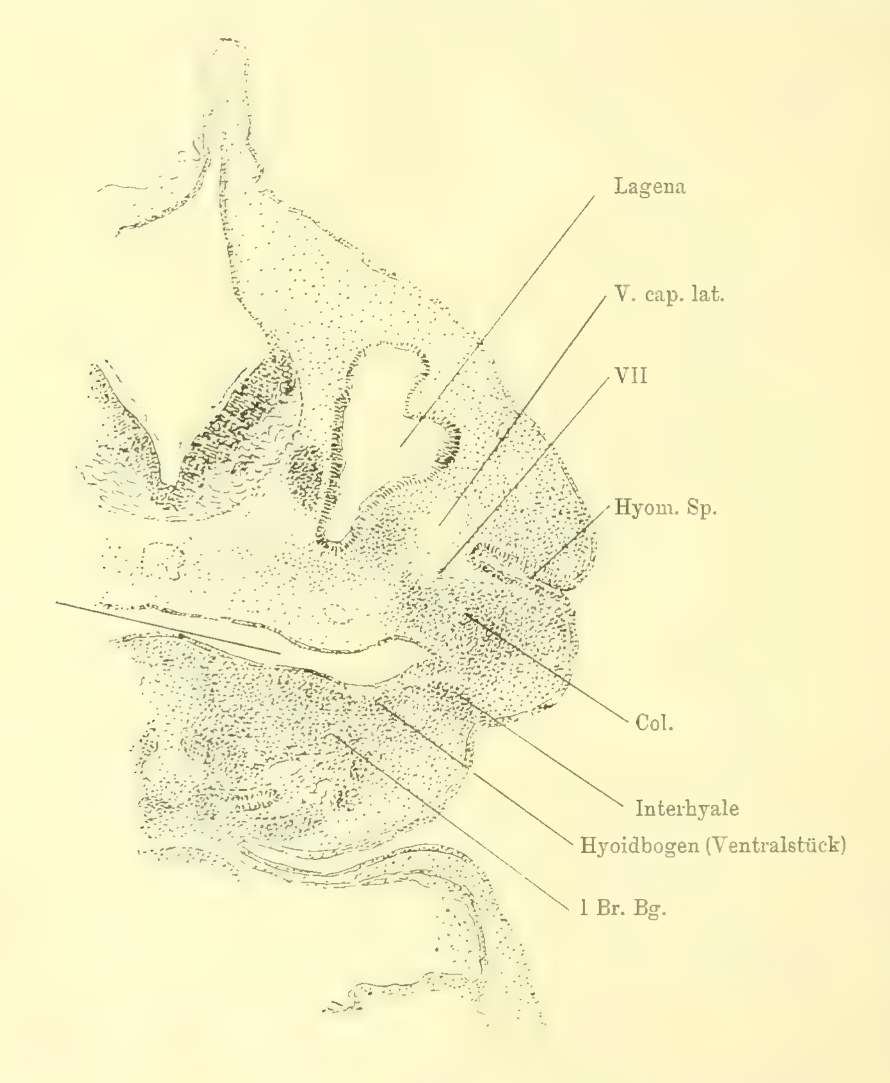


Fig. 2.

Embryo 79 d, Querschnitt. L. 3, Oc. 1, M. T.

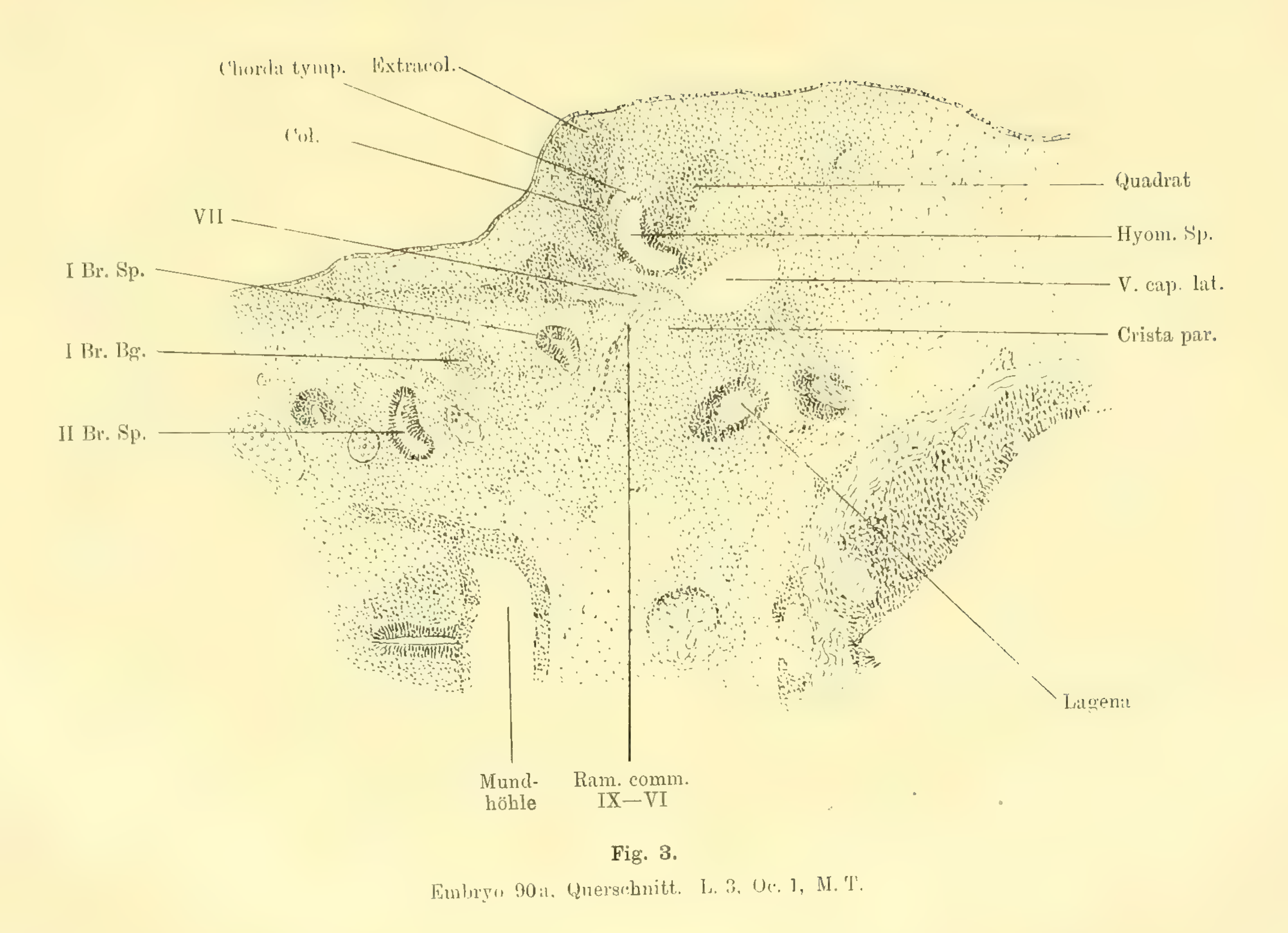


Fig. 3.

Embryo 90a. Querschnitt. L. 3, Oc. 1, M. T.

in medialer Richtung ohne Grenze in das diffuse, lichte Gewebe zur Seite der Chorda dorsalis über. Dieser kegelförmige Vorsprung und seine Beziehungen zur Columellaanlage wurden bereits in der vorläufigen Mitteilung beschrieben, es muß aber hier nochmals im Zusammenhang darauf eingegangen werden. Der Vorsprung erscheint bei Verfolgung in ventraler Richtung bei allen Embryonen in seiner Spitze aufgehellt und weiterhin muldenförmig ausgehöhlt. Im Bereich dieser Mulde sind die Blastemzellen konzentrisch angeordnet. In diese Mulde (Textfigg. 1, 5 u. 7, Taf. IV, Fig. 17) ragt von unten das nach dorsal und medial gerichtete Ende eines anderen Blastemes hinein, welches sich als die Anlage der Columella auris herausstellt. Wir kommen damit in den Bereich des Hyoidbogens.

Der Hyoidbogen wurde bei einem bereits beschriebenen Embryo auf der Höhe eines primitiven Entwicklungszustandes in fast kontinuierlichem Zusammenhang angetroffen (Textfig. 2 u. Taf. V, Fig. 18). Alle Teile, welche durch Zerlegung des Bogens aus ihm hervorgehen, nämlich die Columella auris, das Interhyale und das Ventralstück werden in diesem Stadium noch bestehender Visceralspalten in dem die erste und zweite Visceralspalte trennenden Septum angetroffen. Das ist vor allem festzuhalten und das entscheidende Merkmal für die Ableitung dieser Teile.

Das Blastem der Columella auris (Taf. IV, Figg. 15—17, Textfigg. 3, 7—9) hat zu dieser Zeit eine gedrungene Keulen- oder Hantelform. Die Mitte ist schmal, stabförmig; die Enden sind kolbig aufgetrieben und zwar das laterale in stärkerem Maße. Die äußerste Spitze des medialen Endes ist für eine kurze Zeit dorsalwärts abgebogen und schwillt dann birnförmig an, um sich allmählich zum mittleren Teil zu verjüngen. Das äußere Ende bildet wieder eine mehr kugelige Anschwellung; es ist noch nicht bei allen Embryonen deutlich konturiert, da es in der Entwicklung stets mehr oder weniger hinter dem übrigen Blastemabschnitt zurückbleibt. Proximalende und Mitte gehen bald in Vorknorpel über und gewinnen durch längs gestellte Zellen und Fasern, welche frühzeitig ein Perichondrium formieren, einen deutlicheren Umriß. Beim Distalende findet sich hiervon noch keine Andeutung, es reicht als diffuse Zellmasse bis dicht unter das Ektoderm, das es gemeinsam mit dem Quadratblastem knopfförmig nach außen vorwölbt.

Die Columellaanlage ist von medial nach lateral orientiert und so tief zwischen die Dorsalausstülpungen der beiden ersten Visceralspalten eingebettet, daß sie an der Basis derselben resp. dicht über den Mündungsstellen beider Spalten in die Mundhöhle liegt (Taf. IV, Fig. 15). Das Blastem bildet hier gleichsam die Scheidewand zwischen den beiden Mündungen.

Die Columella auris tritt auch histologisch von vornherein als ein einheitlicher Blastemstab auf (Textfigg. 8 u. 9). Niemals ist innerhalb des Bastems eine Grenze zu sehen, welche auf eine zunächst getrennte Genese eines medialen und eines lateralen Abschnittes deutete. Man kann nur zuweilen einen in der Längsrichtung des Blastemstabes verlaufenden zellreichen Zentralstrang und eine zellärmere Peripherie unterscheiden. Das Proximalende und die stabförmige Mitte gehen bald in Vorknorpel über. Das zur Extracolumella werdende Distalende bleibt, wie erwähnt, länger blastematös. Das Proximalende läßt sich fast immer und überall gut von den regelmäßig auf einer jüngeren Entwicklungsstufe stehenden Ohrkapselwandung unterscheiden. Die Blasteme der Crista parotica und der Columella sind also bei ihrem ersten Auftreten völlig voneinander getrennt und bleiben

es, wie sich zeigen wird, auch weiterhin. Unter 8 Embryonen konnte ich nur bei einem die Grenze zwischen beiden Blastemen infolge ungünstiger Schnittrichtung nicht überall mit Sicherheit feststellen. Bei den jüngsten Embryonen zeigt das Proximalende eine nur kurz bestehende, dorsale Abbiegung, welche in der beschriebenen Aushöhlung in der Spitze der Crista parotica liegt. Es sei hier gleich bemerkt, daß ich diese übrigens nur ganz kurze Zeit bestehende dorsale Abbiegung in meiner vorläufigen Mitteilung irrtümlicher Weise mit einem Processus dorsalis anderer Reptilien verglichen habe. Das weitere Verhalten dieses Columellaendes, u. a. auch die Tatsache, daß dem ausgebildeten Tiere ein von einem Processus dorsalis abzuleitendes Intercalare fehlt, lassen mich von dieser Bezeichnung absehen. Ein Processus dorsalis, wie ihn der schallleitende Apparat der Lacertilier zeigt, kommt also bei T. graeca nicht zur Entwicklung. Im übrigen wird die dort schon gegebene Beschreibung des Befundes durch diese Richtigstellung nicht berührt.

Das Proximalende der Columella nimmt bald die Form eines birnförmigen Kolbens an, welcher in die beschriebene Aushöhlung der Crista parotica hineinragt. Es wird weder ein Processus dorsalis noch ein Processus internus angelegt. Im weiteren Gegensatz zur Columellaentwicklung der Lacertilier findet auch keine Gabelung des proximalen

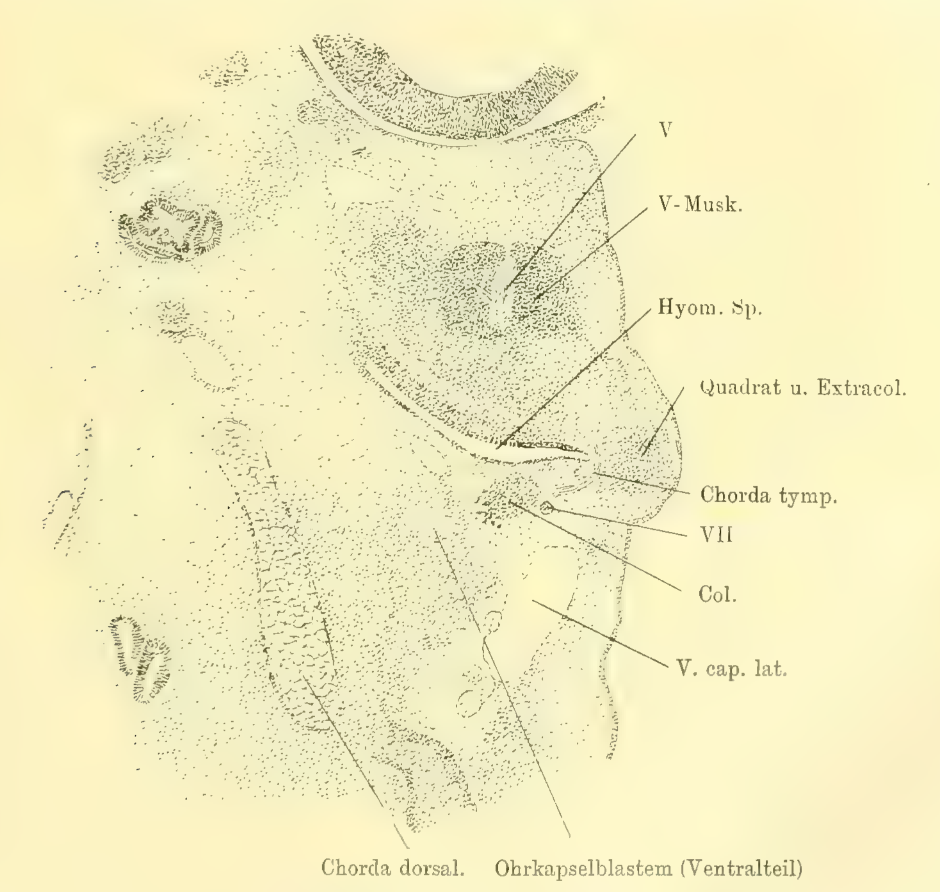


Fig. 4.

Embryo 8a, Schrägschnitt. L. 3, Oc. 1, M. T. Vergr. 2/3.

Columellaendes statt. Es fehlen weiter jedwede Beziehungen der Gehörknöchelanlage zu in Bildung begriffener Muskulatur oder zu Sehnen. Das Proximalende geht kontinuierlich in die stabförmige Mitte der Columella über, diese in das kugelig aufgetriebene Distalende. Die ganze Columellaanlage ist also auch histologisch von Anfang an ein Continuum.

Der Umriß der Extracolumella (Textfigg. 2—7) ist, wie gesagt, noch unklar; sie ist verhältnismäßig sehr viel dicker, wie in späteren Stadien und zeigt im wesentlichen Kugelform. Auch an diesem Abschnitt des Blastemes fehlt jede Andeutung eines Fortsatzes; das Blastem ragt über die es umwachsende Quadratanlage lateralwärts meist etwas heraus und verursacht so die knopfartige Vorstülpung des Ektoderms. Bei manchen Embryonen

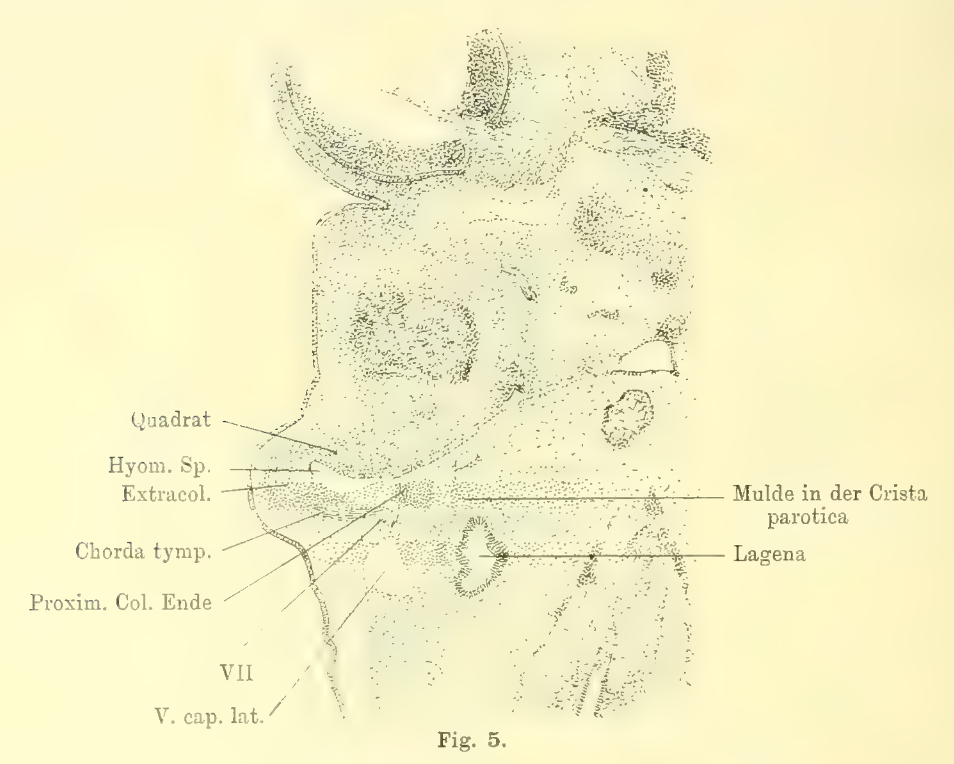


Fig. 5.

Embryo 86 d, Horizontalschnitt. L. 3, Oc. 1, M. T. Vergr. 2/3.

ist auch der orale Teil der Quadratanlage, in welcher sich der Gelenkfortsatz entwickelt, an der Vorwölbung beteiligt. Die gelegentliche Verschmelzung der beiden Skelettanlagen nach Obliteration der äußeren Mündung der Hyomandibularspalte wurde schon erwähnt. Weiter proximal werden die beiden Blasteme noch durch den Rest der Tasche getrennt, welche um diese Zeit stets in die Ohrknopfwölbung hineinzieht und in ihr blind endet.

Bezüglich der anderen Skeletteile, welche sich in dem Septum zwischen Hyomandibular- und erster Branchialspalte befinden, kann ich mich unter Hinweis auf meine frühere Mitteilung kurz fassen. Bei den meisten Embryonen dieses Stadiums sind diese Skelettelemente entweder zum Teil schon stärker rückgebildet, oder — und zu dieser Annahme berechtigt das mir vorliegende reichhaltige Material gerade aus dieser Ent-

wicklungsperiode — sie gelangen durchaus nicht immer in derselben deutlichen Form zum Ausdruck. Zweifellos kann die Ontogenese in Einzelheiten individuell verschiedenartig verlaufen. Dafür werden sich im Verlauf dieser Untersuchung noch mehr Belege ergeben.

Bei der weiteren Verfolgung des Hyoidbogens nach unten findet sich zunächst dicht unter dem Beginn der distalen Anschwellung des Columellablastems eine kleine ovale Zellanhäufung, das Interhyale (Taf. IV, Figg. 15 u. 17 und Taf. V, Fig. 18), fast in Berührung mit demjenigen der Columella. Die Anlage des Interhyale ist bei allen Embryonen aus dieser Entwicklungsperiode zu finden. Es besitzt seine größte Ausdehnung in dorsoventraler Richtung; kaudal schließt sich ihm das Bildungsgewebe für die Facialismuskulatur an, welche sich nunmehr in der Gewebsfalte entwickelt, die vom Hyoidbogen aus über die Öffnungen der Branchialspalten nach hinten vorwächst.

Zur Beschreibung des ventralen Hyoidbogenstückes kann ich mich an den Wortlaut meiner ersten Mitteilung halten; es heißt dort: „Noch eindeutiger wird aber die Herkunft und Zusammengehörigkeit aller dieser Abkömmlinge eines primitiven Hyoidbogens, wenn man den Befund am ventralen Hyoidbogenstück (Taf. V, Fig. 18, Textfig. 2) mit in Rechnung zieht. Dieses wird nämlich im Bastem- resp. im Vorknorpelstadium in viel größerer Ausdehnung angelegt, als man nach den Befunden während der Knorpelbildung und beim erwachsenen Tiere annehmen sollte, und erscheint geeignet, jeden Zweifel über die Vorgänge, welche sich während der Ontogenese innerhalb des Hyoidbogens abspielen, zu beseitigen. Das Ventralstück reicht bis dicht an das Interhyale heran. Letzteres liegt dabei genau in der Verlängerung des Ventralstückes nach lateral und dorsal zum Columellaende.“ Weiterhin sieht man dann das Ventralstück im Zusammenhang mit der Copula.

Wir sehen also in diesem Stadium bei manchen Embryonen die Anlage eines fast vollständigen Zungenbeinbogens. Aber kaum als schon gegliedertes Blastem angelegt, unterliegt der Zungenbeinbogen einer schnellen Reduktion. Zuerst geht das Ventralstück schnell bis auf einen kleinen Fortsatz, den Processus ant. lat. des Zungenbeines zu Grunde. Diesem Zustand begegnet man bei der Mehrzahl der hier aufgeführten Embryonen. Bald verschwindet dann auch das Interhyale restlos.

Die Branchialspalten haben im Vergleich mit dem vorigen Stadium tiefgreifende Veränderungen erlitten. Die vierte (fünfte) Visceralspalte ist völlig obliteriert; die dritte haftet noch als kleiner Blindsack vermittelst eines schmalen soliden Epithelstreifens am Ektoderm. Die erste und zweite Branchialspalte sind durch den erwähnten, vom Zungenbeinbogen nach hinten vorwachsenden Gewebslappen in kaudaler Richtung zusammengeschoben und überlagert; sie münden gemeinsam am hinteren freien Rand dieser Falte, später unter diesem. Die uns hier besonders interessierende erste Branchialspalte ist in ihrer Richtung jetzt fast oral-kaudal gestellt und in ihrer Längenausdehnung stark reduziert. Die für diese Betrachtungen wichtige Dorsalausstülpung (Taf. IV, Fig. 15) ist noch ausgesprochen vorhanden, ihre Spitze erhebt sich hinter dem Columellablastem über dieses hinaus dorsalwärts und steht mit derjenigen der Hyomandibulartasche durchschnittlich fast in gleicher Höhe. Jedoch variieren auch diese Einzelheiten oft sehr; so steht die Spitze der Hyomandibulartasche oft auch beträchtlich tiefer. Ein kurzer Zipfel der Tasche erstreckt sich längs der Kaudalseite der Columella eine Strecke weit lateralwärts und dieser Zipfel ist es, welcher in der Entwicklung der Paukenhöhle eine Rolle spielt. Ventral öffnet sich dieser Zipfel weit in die Mundhöhle. Die weite innere Mündung der ersten Branchialspalte

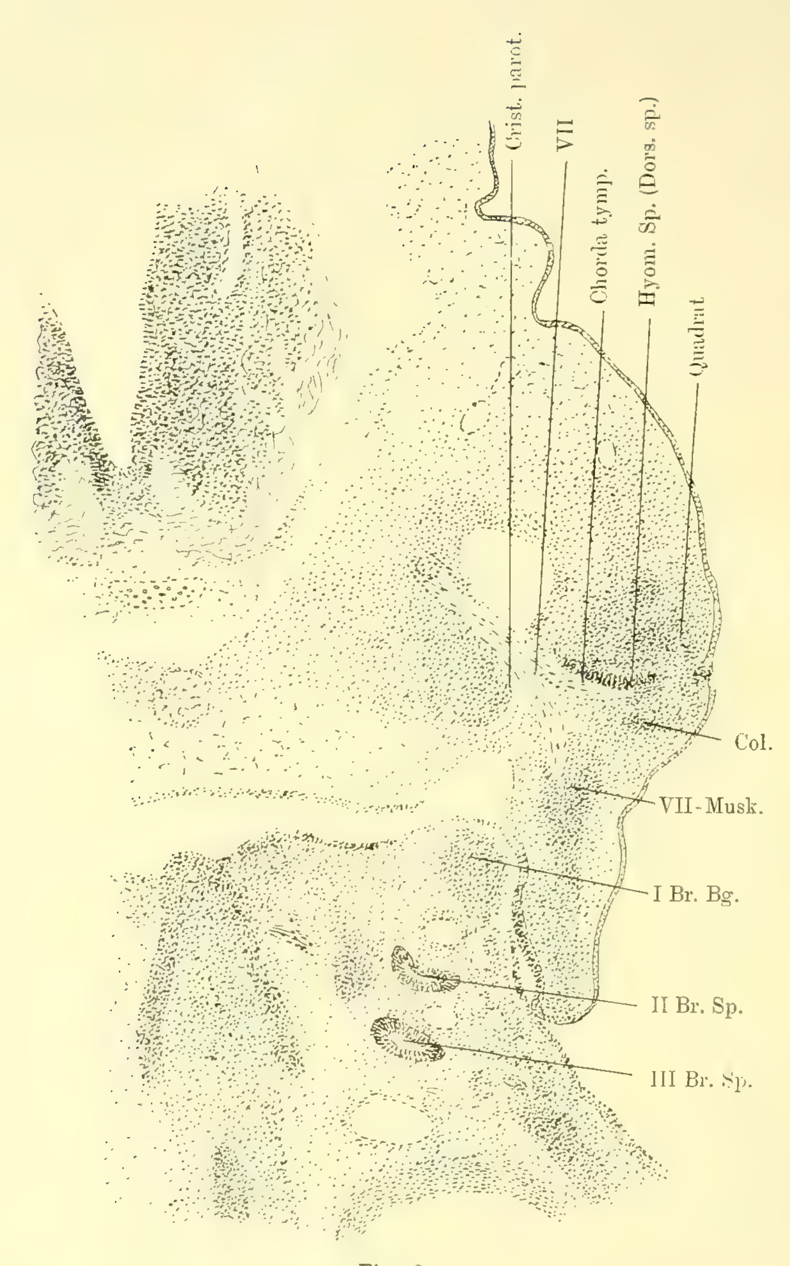


Fig. 6.

Embryo 90 a, Horizontalschnitt. L. 3. Oc. 1. M. T.

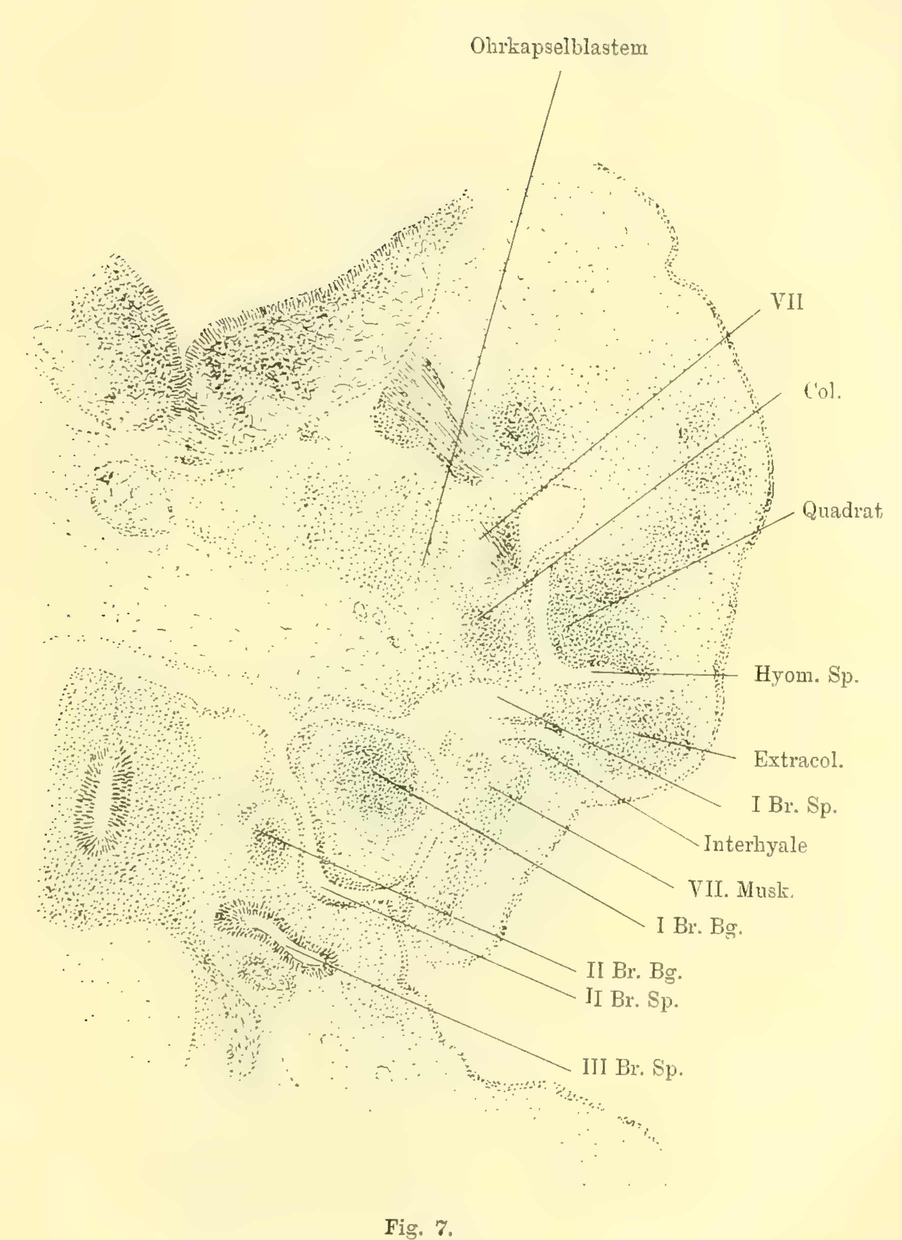


Fig. 7.
Embryo 80 d, Schrägschnitt. L. 3, Oc. 1, M. T.

liegt also dicht unter und hinter der Columella. Die äußere Mündung ist zu einem langen Gang mit feinem Lumen ausgezogen, welcher an der Innenseite des Blastems der Facialismuskulatur kaudalwärts zieht und kurz vor seiner Ausmündung die äußere Öffnung der zweiten, weniger verschobenen Branchialspalte in sich aufnimmt (Textfigg. 6—9). Kaudal von der Mitte der Spalte ragt die Dorsalspitze des Blastems für den ersten Branchialbogen empor.

Gefäße und Nerven. Die Vena cap. lat. zieht, wie in früheren Stadien über die Spitzen der Visceralspalten hinweg. Zwischen Quadratblastem und Anlage der Crista parotica tritt das Gefäß in den Bereich des sich bildenden Paukengebietes, kreuzt mit dem N. facialis, dorsal von ihm verlaufend, spitzwinklig das Columellablastem und verfolgt dann außer- und oberhalb der Spitze der ersten Branchialspalte seinen Weg nach hinten und unten, um in die Vena jugularis einzumünden. — Die Arteria carotis zieht annähernd in gleicher Richtung ventral und medial von der Vene.

Das Ganglion geniculi des Nervus facialis treffen wir wieder an der Oralfläche der Crista parotica unterhalb der Vene. Von vorn mündet der vom hinteren Mundhöhlendach kommende R. palatinus in das Ganglion ein; nach hinten geht der Hauptstamm des Facialis ab und überschreitet den medialen Abschnitt der Columellaanlage. Kurz

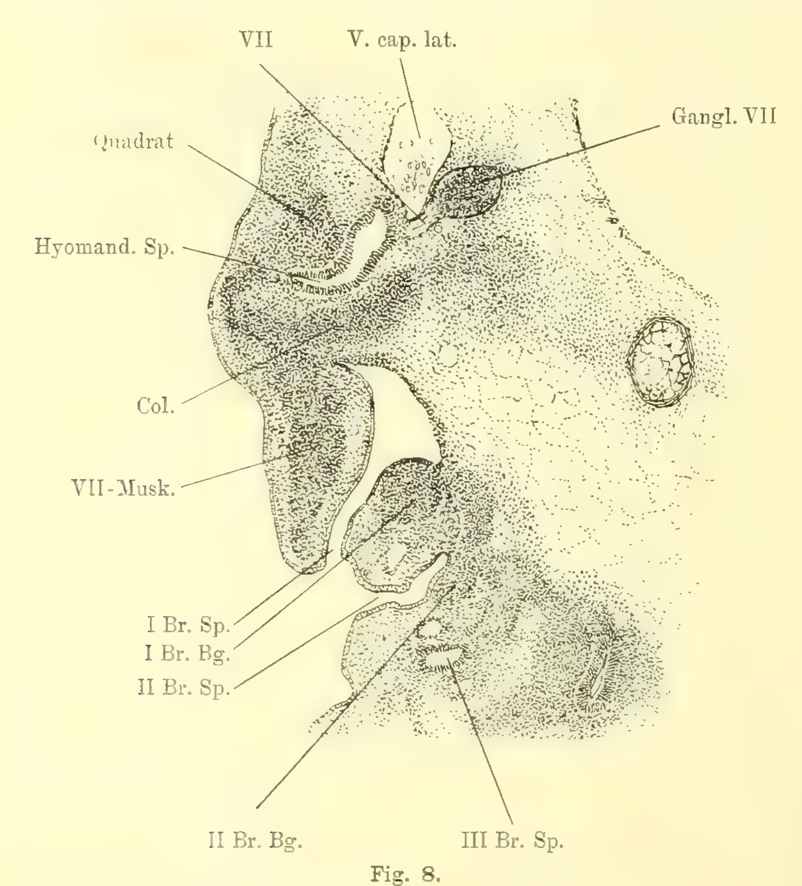


Fig. 8.

Embryo 25 d, Horizontalschnitt. L. 3, Oc. 3, M. T. Vergr. 2/3.

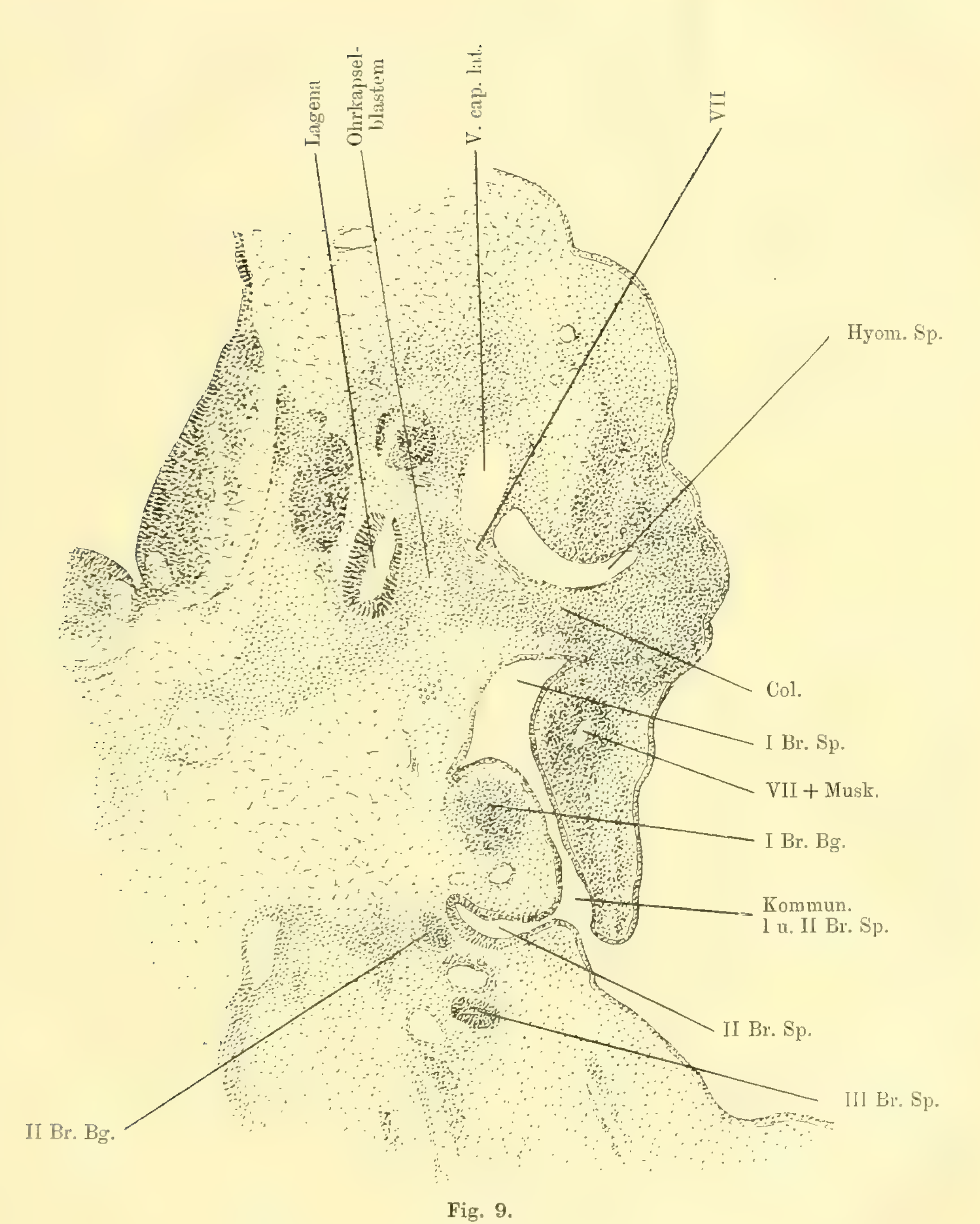


Fig. 9.

Embryo 19b, Horizontalschnitt. L. 3, Oc. 1, M. T.

vorher löst sich die Chorda tympani ab (Taf. IV, Fig. 15, Textfigg. 1, 3—6) und folgt der Oralseite des Columellablastems fast bis zum Ektoderm lateralwärts. Streckenweise ist der Nerv direkt in die sich zur Extracolumella verdickenden Zellmassen eingelagert. Der Nerv folgt dem ihm zugehörigen Visceralbogen in diesem Stadium also noch auf eine große Strecke; bei älteren Embryonen verläßt er, wie sich zeigen wird, durch sekundäre Veränderungen des Knorpelskeletts beeinflußt, die Columella auris schon viel weiter medial. So zieht dieser Facialisast parallel mit dem Columellablastem längs der Kaudalwand der stark zurückgebildeten Hyomandibulartasche und gelangt dann oralwärts umbiegend in den Bereich des Quadratblastems, wo er in diesem Stadium noch nicht weiter zu verfolgen war.

Zugleich mit der Chorda tympani löst sich ein feiner Ast vom Hauptstamm ab, welcher sich außen um das noch etwas dorsalwärts abgebogene proximale Columellaende herum kaudalwärts wendet und bis in das Ganglion des Glossopharyngeus zu verfolgen ist, ein R. communicans IX—VII (Taf. IV, Fig. 15, Textfigg. 1 u. 3). Der R. hyomandibularis VII senkt sich nach Überschreiten der Columella nach unten und außen und ist noch eine Strecke weit innerhalb des Blastems der Hyoidbogenmuskulatur zu sehen.

III. Übergang des Visceralskeletts resp. seiner Derivate in Vorknorpel.

8 Embryonen (Taf. I—V, Textfigg. 8—11).

Die Embryonen dieses Stadiums sind äußerlich zunächst durch einen gut differenzierten Rückenschild gekennzeichnet; seine Länge schwankt zwischen 6,3 und 7,9 mm. Der Bauchschild befindet sich erst im Anfang der Differenzierung. An den ruderblattförmigen Enden der Extremitäten bemerkt man die erste Andeutung einer Phalangenbildung. Äußere Kiemenspaltenöffnungen sind nicht mehr vorhanden; nur bei einigen Embryonen ist noch die gemeinsame Öffnung der beiden ersten Branchialspalten sichtbar. Eine scharfe Trennung zwischen den Embryonen dieser und der vorigen Entwicklungsstufe ist nicht immer möglich; man trifft zahlreiche Übergänge, bei welchen die Beschreibung im Interesse der Klarheit nicht näher verweilen kann. Überall gewahrt man im Bereich der Ohrgegend jene knopfförmige Vorwölbung, jedoch ist an ihr keine Öffnung mehr zu sehen. Es fällt auf, daß das Offenbleiben mehrerer Visceralspalten und das Auftreten des sogenannten Ohrknopfes sich gegenseitig ausschließen. Hierdurch wird schon äußerlich angedeutet, daß die Vorwölbung im Dorsalbezirk des Hyoidbogens erst durch eine Verlagerung des dorsalen Bogenteiles nach einer Gliederung und Reduktion des Bogens und nach sekundärer Umformung und Verlagerung der Teilstücke hervorgerufen wird. Von diesen der Ohrknopfbildung zu Grunde liegenden Veränderungen wird weiterhin noch die Rede sein; sie sind für das Verständnis der Entstehung des schalleitenden Apparates aus dem Hyoidbogen gleichfalls von Bedeutung. Die beiderseitigen Unterkieferwülste, in welchen die Entwicklung des Meckelschen Knorpels ihren äußeren Ausdruck findet, haben sich median sehr genähert oder schon vereinigt.

Das Visceralskelett findet sich ganz allgemein auf der Stufe des Vorknorpels. Deckknochen fehlen noch völlig. Der Kieferbogen läßt nunmehr seine beiden Komponenten erkennen. Die Vorknorpelspange, welche zum Meckelschen Knorpel wird, hat sich vom Quadrat abgesetzt. Zwischen den beiden Teilen des Bogens findet sich ein Spalt, aber noch kein Gelenk. Der Unterkiefer ist auch jetzt in seiner Entwicklung weiter fort-

geschritten, wie das Quadrat; er besteht gleichmäßig aus Vorknorpel mit schon reichlich entwickelter Intercellularsubstanz und ist überall durch fibrilläres Gewebe gut abgegrenzt. Beide Unterkieferspangen haben sich median miteinander vereinigt. An der Vereinigungsstelle behält das Gewebe länger blastematösen Charakter. Die Anlage eines beide Spangen verbindenden, zunächst selbständigen Mittelstückes habe ich nicht finden können.

Das Quadrat hat sich stark verändert, und es steht mit diesen und den noch folgenden hochgradigen Veränderungen durchaus im Einklang, daß dieser Skeletteil, der erst so spät seine komplizierte definitive Gestalt annimmt, auch histologisch erst später den Charakter des Vorknorpels resp. Knorpels annimmt. Die Bildungszellen dieser Skelettanlage müssen länger verschiebbar bleiben, daher ihr verspäteter Eintritt in definitive Zustände. Aus der bis dahin rundlichen Quadratanlage ist durch zentrale Aufhellung auf der einen Seite, durch vermehrtes Wachstum in den medialen, oralen und dorsalen Partien auf der anderen, jene eigentümliche Nierenbecken- oder Ohrmuschelform geworden, welche für das Quadrat der Schildkröten charakteristisch ist. Dazu kommt die bisher noch nicht deutlich erkennbare Anlage des Fortsatzes, welcher sich vom oralen Rand der inneren Quadratwand nach vorn und innen erstreckt und sich mit seinem distalen Ende wieder leicht lateralwärts umbiegt, die Anlage des Processus pterygoideus (Chondropterygoid) (Taf. IV, Fig. 14). Dieser Fortsatz tritt jetzt sogar am schärfsten umrissen auf, und in seinem Bereich erscheint auch späterhin zuerst Jungknorpel innerhalb der Quadratanlage. Der Innenseite des Proc. pterygoideus ist die Vena cap. lat. eng angelagert, welche parallel mit dem Fortsatz zur Medialwand des Quadratkörpers verläuft. — Ein Epipterygoid, dessen Anlage zunächst in Form eines Proc. ascendens an der Basis des Chondropterygoides zu erwarten wäre, ist zu dieser Zeit noch nicht vorhanden, wie mir außer den Serien mehrere Modelle vom Quadrat beweisen.

Das Gewebe des Quadratkörpers befindet sich überall auf derselben Entwicklungsstufe. Die Wachstumstendenz des Quadratkörpers geht im großen darauf hinaus, das ganze noch genauer zu beschreibende Gebiet, welches die reduzierten Dorsalbezirke des Hyomandibular- und der ersten Branchialtasche mit der zwischen ihnen eingebetteten Columella auris enthält, zu umwachsen; weiterhin auch die Extracolumella. Die Längsachse des Quadrats steht sagittal. Die Höhlung des Quadratbeckens sieht nach außen, der Boden desselben ist nach innen gegen die Ohrkapsel gerichtet; dabei steht das Becken, mit dem Oralteil abwärts geneigt, auf der einen Schmalseite, die dem Gelenkteil entspricht. Dieser ist also ventral und oral gerichtet, die andere Schmalseite nach dorsal und kaudal. Der halbrunde Ausschnitt des Beckens sieht nach unten und hinten, er bildet die Vorstufe des in Bildung begriffenen Columellakanals. Am unklarsten ist noch der Rand des Beckens, welcher noch allenthalben im nach außen gerichteten Vorwachsen begriffen ist.

Die Entwicklung des Quadratkörpers läßt auf der medialen Seite, gegen die Ohrkapsel zu, einen mit Bindegewebe, Gefässen und Nerven ausgefüllten Raum entstehen, welcher bisher unzutreffend als medialer Paukenraum bezeichnet worden ist. Dieser Raum vergrößert sich mit dem Wachstum des Quadrats und stellt nach der Verschmelzung des Quadrats mit dem Cranium einen schmalen, fast vollständig abgeschlossenen Spalt dar. Ein zweiter Raum, welcher zunächst ebenfalls größtenteils mit Bindegeweben ausgefüllt ist, entsteht in der Höhlung des Quadrats selbst. In diesem allein aber entwickelt sich die zukünftige Paukenhöhle.

Alle weiteren Entwicklungsvorgänge an der Hyomandibulartasche, der Columella auris und der ersten Branchialtasche stehen fortan in erster Linie unter dem Einfluß der Quadratentfaltung, welche alle diese Gebilde umwächst und dabei teils verlagert, teils ganz verdrängt. Diese Vorgänge können deshalb nur noch unter gemeinsamer Betrachtung aller dieser Gebilde besprochen werden.

Die Columella auris und die ihr benachbarten Visceraltaschenderivate; der Beginn der Paukenbildung.

Die mehrfach erwähnten Dorsalausstülpungen der beiden ersten Visceraltaschen sind nun ganz abgeflacht; bei der ersten Branchialtasche ist nun auch keine Ventralausstülpung mehr vorhanden. Die Rudimente der beiden Taschen persistieren bald nur noch als zwei langgezogene ganz dünne Schläuche (Taf. V, Fig. 19), welche nur am Abgang von der Mundhöhle breiter werden. Speziell der von der I. Branchialtasche stammende Schlauch ist nach seiner Lage und Form genau auf jenen kaudal von der Columella liegenden Zipfel des vorigen Stadiums zurückzuführen. Die beiden Schläuche gehen von einer nach dorsal gerichteten, sagittal stehenden und medio-lateral abgeplatteten Ausstülpung der lateralen Mundhöhlenkante ab und sind zunächst nach oben und etwas nach außen gerichtet. Die obere Kante dieser Ausstülpung ragt zu dieser Zeit ein wenig von unten in den Spalt zwischen Quadrat und Ohrkapsel hinein und reicht nach vorn bis zur Basis des Processus pterygoideus. Vom hinteren Rand dieser Taschenkante geht der oraler und dorsaler gelegene dünne Epithelschlauch ab. Er wendet sich nach lateral und etwas ventral, passiert dann den Beckenausschnitt und biegt, in der Beckenhöhle angelangt, wieder nach oben ab, um nun dicht über dem äußeren Columellateil in eine sackartige Erweiterung überzugehen. Der andere Schlauch verläßt die taschenartige Ausstülpung an deren kaudal-ventralen Rand, also an einer tiefer gelegenen Stelle, wie der erste, und zieht in gradem Verlauf nach oben und außen in das Quadratbecken hinein. Hier mündet er, von unten her, gleichfalls in die sackartige Erweiterung ein, welche innerhalb der sich bildenden Quadrathöhlung vor dem distalen Abschnitt der Columella liegt (Taf. VI, Fig. 20). In diesem Sack kommunizieren also jetzt die beiden Schläuche miteinander. Der Sack steht mit seiner Längsachse dorso-ventral und liegt vor dem äußeren Teil der Columella und dicht an deren kolbenförmiger Endanschwellung, der späteren Extracolumella. Der Weg, den die beiden von den ersten Visceralspalten stammenden Schläuche machen, ist also ein etwas verschiedener und schwer zu beschreiben. Auf die Figuren 19 und 20 auf den Tafeln V und VI sei nochmals besonders aufmerksam gemacht; sie werden diese verwickelten Vorgänge besser wie Worte demonstrieren. Der eine Schlauch zieht also dorsal und etwas oral, der andere ventral und, unter Berücksichtignng der Krümmung des Halses, etwas kaudal von der Columella auris.

Die Columella auris (Textfig. 10) selbst hat sich gestreckt und ist graziler geworden, ihr Proximalende hat jetzt ungefähr die Form eines Pistills angenommen. Das Distalende ist noch immer viel massiger und in seiner endgültigen Gestalt noch viel unklarer; es ist vom Quadrat größtenteils kreisförmig umwachsen, doch besteht jetzt ein breiter ringförmiger Spalt zwischen dem Lateralrand des Quadratbeckens und der Extracolumella, welcher mit embryonalem Bindegewebe ausgefüllt ist. Dieser Unterschied

findet auch histologisch seinen Ausdruck, denn letzterer Endabschnitt ist in seinen peripheren Teilen noch blastematös, während der erstere und die stabförmige Mitte des Gehörknöchelchens schon gleichförmig aus Vorknorpel bestehen.

Auf den ersten Blick erscheint die zuletzt beschriebene Situation im Bereich der sich bildenden Paukenhöhle so anders, wie die vorhergehende, daß der Vergleich beider miteinander und die Ableitung des Späteren aus dem Früheren Schwierigkeiten zu machen scheint. Und doch kann es bei der großen Anzahl von Embryonen, welche mir gerade aus diesem Stadium vorliegen, als ausgeschlossen gelten, daß hier eine größere Lücke in der Beobachtungsreihe vorliegt. Zweifellos geht die Entwicklung des Mittelohres um diese Zeit in mancher Beziehung sprungweise vor sich. Aber bei genauer Berücksichtigung der Entwicklung des Quadrates, welche sekundär alle diese Vorgänge intensiv beeinflußt, ergibt sich der jetzige Zustand zwanglos aus dem Vorigen.

Zwei Hauptmerkmale charakterisieren die beschriebene Weiterentwicklung des Mittelohres: 1. die Reduktion der beiden in Frage kommenden Visceraltaschen zu schmalen Schläuchen und das Zustandekommen einer sekundären peripheren Kommunikation zwischen den beiden Schläuchen innerhalb der Quadrathöhlung;

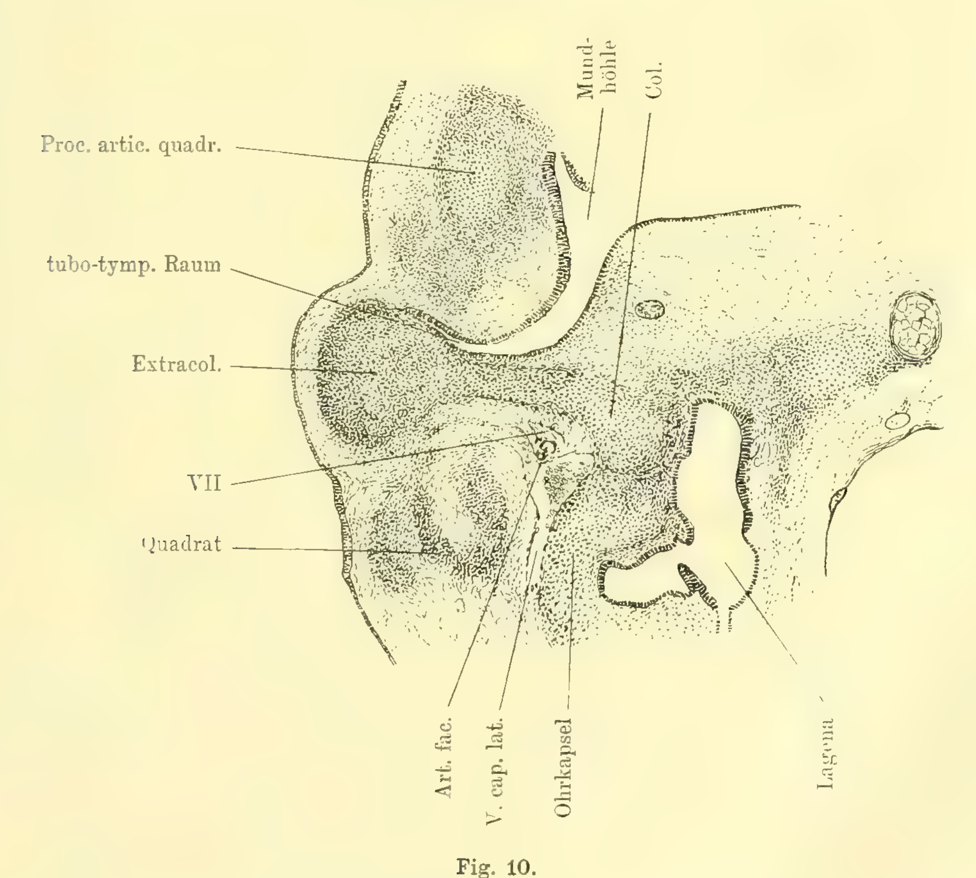


Fig. 10.

Embryo 76 c, Horizontalschnitt, Vorknorpelstudium mit Übergang in Jungknorpel. L. 3, Oc. 3, M. T. Vergr. 2/3.

2. die mächtige eigenartige Entfaltung des Quadratkörpers.

Betreff des ersten Punktes ist vor allem zu betonen, daß die Rudimente der beiden Visceraltaschen in keinem Stadium der bisherigen Entwicklung schwinden. Aus den Dorsalbezirken der beiden Spalten sehen wir Taschen hervorgehen, aus diesen durch weitere Rückbildung die beiden beschriebenen Epithelschläuche. Stets aber bleiben beider Lumina zwar in veränderter Form, aber im Bereich der ursprünglichen Anlage aufrecht erhalten. Das wesentlich Neue, was wir jetzt beobachten, ist eine sekundär hinzugekommene Kommunikation an der Peripherie der beiden Schläuche, welche wir nach Abschluß der äußeren Öffnungen zunächst blind endigen sahen. Jetzt haben wir einen fortlaufenden Schlauch vor uns (vgl. Taf. IV, 15 und V, 19), welcher von der Mundhöhle durch den Beckenausschnitt in die Quadrathöhlung zieht, diese unter sackartiger Auftreibung gewunden durchläuft und dann in ventraler Richtung wieder verläßt, um sich weiter ventral und kaudal wieder in das Mundhöhlenlumen zu öffnen. Dieser Schlauch kann also mangels jeder anderen Unterlage nur auf den peripheren Zusammenfluß der beiden Visceralspaltenreste zurückgeführt werden.

Wie ist nun die jetzige Lage dieser beiden Spaltenreste zur Columella auris zu erklären? Die Antwort hierauf vermag schon allein die Berücksichtigung der Quadratentwicklung zu geben; in zweiter Linie noch die anderer sekundärer Umstände. Der Körper des Quadrats dehnt sich in großem Bogen über die Columella auris hinweg zunächst nach oben und hinten, dann nach unten aus. Damit überbrückt er aber die ganze Region, welche von den Resten der genannten Visceraltaschen und der Anlage des schalleitenden Apparates ausgefüllt wlrd, und nimmt sie weiterhin nahezu völlig ein. So müssen die beiden widerstandsunfähigen Taschen unter dem Druck der mächtig sich entwickelnden Skelettanlage nachgeben. Die Visceraltaschen obliterieren bis auf jene schmalen Schläuche und weichen zugleich nach der einzigen Richtung aus, welche ihnen offen bleibt, nämlich ventralwärts. Der eine der beiden Schläuche, der dorsaler gelegene, demonstriert durch seinen gebogenen Verlauf und seine derzeitige Lage augenscheinlich noch die Richtung, in welcher der Druck des Quadrats wirkt, und die Art des Ausweichens. Er liegt an der dorsalsten Stelle, welche ihm das Quadrat noch übrig läßt, nämlieh im Ausschnitt des Quadratkörpers, und auch diese Lage ist bereits durch Druck von oben beeinträchtigt, wie aus seinem gebogenen Verlauf hervorgeht. Auch die Abgangsstelle des ventraler gelegenen Schlauches, welcher auf die erste Branchialspalte zurückzuführen ist, ist nicht nur durch Anpassung an die gesamte Kopfkrümmung erklärt, er ist vielmehr auch durch die Quadratentwicklung, wenn auch in geringerem Maße, verlagert worden.

Die Kommunikation beider Schläuche zu einer sackartigen Erweiterung (Taf. VI, Fig. 20) macht gleichsam den Eindruck einer Kompensation für die Reduktionen an anderer Stelle; sie erfolgt bezeichnenderweise in der Höhlung des Quadratkörpers, der einzigen Stelle, innerhalb welcher das Wachstum des Quadrats nicht hemmend wirkt. Hier ist im Gegenteil freier Spielraum, und es scheint mir neben dem ganzen geschilderten Entwicklungsgang ein weiterer Beweis für die Richtigkeit der vorgetragenen Auffassung zu sein, daß sich aus diesem, aus dem peripheren Zusammenfluß der beiden reduzierten Visceralspalten hervorgegangenen Sack die Paukenhöhle entwickelt. Damit ist aber jetzt schon einmal klargestellt, daß die Entstehung der Paukenhöhle an den Dorsalbezirk der beiden ersten Visceralspalten geknüpft ist, ferner auch, daß ihr Lumen, wenn auch in Form und Lage

sehr verändert, nur aus dem dauernd offen bleibenden Lumen der später peripher konfluierenden beiden Spalten hervorgehen kann; denn es gibt nach meinem immerhin umfangreichen Material bis zu diesem Stadium keinen Moment, bei welchem diese Spalten resp. Taschen oder schließlich Schläuche vollständig obliteriert wären; sie bleiben beide, wenn auch in einer sehr veränderten, aber durch die Quadratentwicklung völlig erklärten Form bis zur Anlage des Paukensackes bestehen. Das vorliegende Stadium ist also für die Ableitung der Paukenhöhle das entscheidende. Die Paukenhöhle von T. graeca geht demnach aus den Rudimenten der beiden ersten Visceralspalten hervor, nicht etwa aus einer sekundären Ausstülpung der Mundhöhle.

Die Columella auris unterliegt, weil selbst ein Skeletteil, dem vom Quadrat ausgehenden Druck nicht in dem Maße, wie die nachgiebigen Epithelverbände der beiden Taschen. So kommt es, daß die Columella auris an ihrem Platz bleibt und gleich einem festen Pol von der Quadratanlage umflossen wird. Je mehr letztere die ganze Mittelohranlage ventralwärts drückt, desto mehr erscheint die Columella im Verhältnis zu ihrer Umgebung dorsalwärts gelagert. Bei dieser auf die ganze bisherige Ontogenese gestützten Auffassung ist leicht zu verstehen, daß sich der schalleitende Apparat nunmehr auch an der dorsalsten Stelle findet, welche ihm das Quadrat frei läßt, nämlich im Beckenausschnitt, dem noch unvollständigen späteren Columellakanal. Es wird sich weiterhin zeigen, daß die Columella schließlich doch etwas durch das Quadrat, speziell durch den Processus tympanicus quadrati, in ihrer Form beeinflußt wird. In erster Linie ist aber daran festzuhalten, daß die Columella auris verhältnismäßig an der gleichen Stelle bleibt, die beiden Visceraltaschenreste aber ventralwärts gedrängt werden und so erklärt sich die Verschiebung in den Lagebeziehungen zwischen der Gehörknöchelanlage und den beiden Taschen. Bisher faßten die Dorsalausstülpungen der beiden Taschen die Columella derart zwischen sich, daß die eine Tasche oral, die andere kaudal von der Columella lag. Nunmehr sind von den Taschen nur die zwei dünnen Epithelschläuche übrig geblieben und durch das Quadrat so verlagert worden, daß jetzt das eine Taschenderivat mehr dorsal, das andere mehr ventral von der Columella liegt. Diese Verschiebung war erst nach Reduktion der Taschen möglich und ist erstens durch die vermehrte Krümmung der ganzen Kopfgegend, zweitens aber vor allem durch den Einfluß der enormen Quadratentwicklung erklärt.

Das nächste Stadium wird, wie hier schon vorausgeschickt sei, die letzten Zweifel an der Berechtigung dieser Anschauung beseitigen; es wird nämlich den Abschluß dieses ganzen Vorganges bringen, in welchem dasjenige Spaltenderivat, welches dem geschilderten Druck ausweichen kann, sich erhält, das andere dagegen, welchem kein Raum mehr bleibt, völlig abgeklemmt wird und verschwindet.

Als weiteres Beweismoment aus dem vorliegenden Stadium aber dient vorerst noch der Verlauf der Nerven. Der Nervus facialis interessiert wieder in erster Linie. Sein Ganglion geniculi liegt der Ohrkapselwand oral an; aus diesem zieht der Hauptstamm des Nerven in bekannter Weise über die Columella nach hinten, unten und außen. Über der Columella gabelt sich der Nerv in Chorda tympani, R. communicans IX—VII und R. hyomandibularis. Die Chorda tympani (Textfigg. 9 u. 10) folgt der Oralseite der Columella jetzt nur noch eine kurze Strecke, dann senkt sie sich vor dieser im Ausschnitt des Quadratbeckens ventralwärts. Der Nerv liegt hier erst an der Hinterfläche des zum Processus tympanicus werdenden Quadratabschnittes, dann an der Hinterfläche des Gelenkfortsatzes,

nahe dessen Medialrand. Der ventraler gelegene der beiden geschilderten Paukenschläuche, die zukünftige Tube, zieht kaudal vom Nerven ebenfalls in dorso-ventraler Richtung. Aus diesem Verlauf der Chorda tympani oral von dem Taschenderivat geht also nochmals deutlich hervor, daß dieses kein Abkömmling der Hyomandibulartasche sein kann, denn sonst müßte der Nerv, wie in dieser Abhandlung bei allen jüngeren Embryonen gezeigt worden ist, und wie ferner die vergleichende Untersuchung[1]) auch dieses Astes durch die Wirbeltierreihe gezeigt hat, kaudal von dem Schlundtaschenderivat verlaufen. Das Gegenteil aber ist der Fall und zeigt in Übereinstimmung mit den beschriebenen Entwicklungsvorgängen auch jetzt noch durch den kaudaler gelegenen Abgang dieses Schlauches von der Mundhöhle, daß der zur Tube sich umwandelnde Schlauch von der ersten Branchialspalte abgeleitet werden muß. Auch der Verlauf der Chorda tympani demonstriert also, daß die Verschiebung der beiden Visceraltaschenderivate in der Weise erfolgt ist, daß die ehemals orale erste Spalte mehr dorsal verlagert wurde und dann obliterierte, die ehemals kaudal folgende, zweite Tasche jetzt mehr ventral gelegen ist und als Tube erhalten bleibt.

Kehren wir zum Verlauf der Chorda tympani zurück. Der Nerv zieht ganz nahe bei dem in Bildung begriffenen Kiefergelenk vorbei, kaudal und etwas medial von ihm gelegen, und wendet sich dann am hintersten Winkel des Meckelschen Knorpels zu dessen Medialseite, wo er nach kurzem Verlauf bereits seine Verbindung mit dem dritten Trigeminusaste eingeht.

Der R. communicans IX—VII, neben welchem ältere Stadien noch eine zweite sympathische Schlinge zwischen N. facialis und N. glossopharyngeus erkennen lassen, wendet sich oberhalb der Columella nach hinten und unten und senkt sich alsbald in das am hinteren unteren Ausgange des Spaltes zwischen Ohrkapsel und Quadrat gelegene Ganglion des Glossopharyngeus hinein. — Über den R. hyomandibularis ist nichts Neues hinzuzufügen.

Von Gefäßen sind wiederum die Vena cap. lat., und ein kleiner Ast der Carotis, die Arteria facialis anzuführen. Beide durchziehen in verschiedener Richtung den Spalt zwischen Ohrkapsel und Quadrat; zum Ausschnitt des Quadratbeckens, dem in Bildung begriffenen Columellakanal treten sie nicht in Beziehung und werden demgemäß auch durch die Quadratentfaltung nicht wesentlich beeinflußt. Die weite Vene, welche durch Zusammenfluß eines facialen und eines cerebralen Gefäßes gebildet wird, tritt an der Basis des Processus pterygoideus in den Spalt ein, läuft dann, der lateralen Ohrkapselwand eng angeschmiegt, dorsal vom Facialis über die Columella auris hinweg und senkt sich rechtwinklig ventralwärts zu der Lücke am hinteren unteren Winkel des Spaltes; sie mündet dann alsbald in die Vena jugularis ein. Durch die gleiche Lücke tritt die kleine Arteria facialis, vor der Vene und zunächst parallel mit ihr ziehend, in den Spalt ein. Das kleine Gefäß steigt hinter der Columella empor und wendet sich weiterhin an die Außenfläche der Ohrkapsel, wo es nicht weiter verfolgt wurde. Die Carotis interna selbst bleibt unterhalb der Mittelohranlage und zieht in Begleitung eines zweiten feinen, vorhin erwähnten sympathischen Nerven, von welchem im nächsten Stadium näher die Rede sein wird, zum Dach der Mundhöhle.

[1]) O. Bender, l. c. 1906/07.

Die Branchialbögen werden in einer zweiten Abhandlung genau berücksichtigt werden. Hier sei nur der Vollständigkeit halber bemerkt, daß beide Bögen zu dieser Zeit gleichfalls in Jungknorpel überzugehen beginnen. Der erste hat ungefähr die doppelte Länge wie der zweite, welcher medial und kaudal von ersterem liegt. Vom Oralrande des Hyoidbogenkörpers erstreckt sich ein langer, anfänglich plumper, später am Vorderende zugespitzter Processus lingualis im Boden der Mundhöhle nach vorn. Von der Anlage eines Entoglossums ist auch jetzt noch keine Spur zu bemerken; es tritt erst sehr spät auf.

IV. Jungknorpelstadium des Visceralskeletts und seiner Derivate.

5 Embryonen (Taf. II, VI und VII, Textfigg. 11—14).

Diese Embryonen haben schon ganz das Aussehen ausgebildeter Tiere. Bei der Öffnung der Eier zeigen alle Exemplare Bewegungen des Kopfes und der Extremitäten; man sieht die Herztätigkeit. Die Länge des Rückenschildes schwankt zwischen 7,9 und 10,6 mm. Auch der Bauchschild ist jetzt bis auf eine mediane Fissur entwickelt, durch welche die Dottergefäße treten. Die Extremitäten tragen ausgebildete Phalangen. Am Kopf speziell sind natürlich alle Kiemenspaltenöffnungen verschwunden; auch die vom Hyoidbogen kaudalwärts gewachsene Falte hat sich in den Kontur der Halsgegend eingefügt, und der unter ihr bislang befindliche Zugang zu den Branchialspalten ist verschlossen. Der Ohrknopf hat sich verflacht, und an seiner Stelle dehnt sich jetzt ein innerhalb der Lateralöffnung des Quadratbeckens ausgespanntes Trommelfell aus (Taf. II, Fig. 9—11), in welches das Distalende der Columella, der Insertionsteil der Extracolumella eingewebt ist. Der ganze Bezirk wird vom Quadrat nach Art eines Bügels umfaßt, wie schon am äußern Relief dieser Kopfgegend erkennbar ist. Zur besseren Einsicht in die Skelettverhältnisse in situ wurden die Köpfe mehrerer Embryonen nach der Lundvallschen[1]) Methode mit Methylgrün gefärbt und aufgehellt. Die Fig. 10 auf Taf. II gibt eine Vorstellung von dem Bild, welches man dann von den uns hier interessierenden Teilen des Visceralskeletts erhält. Außerdem sei auf die Modelle von der Ohrgegend auf Taf. VII verwiesen.

Ausgedehnte Teile des Craniums, wie die Basis, die Nasenkapsel und die Ohrkapsel werden in verschiedenen Stadien der Jungknorpelbildung angetroffen. Der Kieferbogen, die Columella auris und die Branchialbögen sind jetzt fast völlig in Jungknorpel übergeführt. Die Verknorpelung setzt durchschnittlich ganz diffus ein, d. h. die einzelnen Skeletteile verknorpeln meist in einem Guß. Das Auftreten deutlicher Knorpelkerne ist offenbar seltener und anscheinend nicht an bestimmte Stellen geknüpft. Die ausgedehnte Quadratanlage eignet sich am meisten für das Studium der Verknorpelung. Hier sieht man den Proc. pterygoideus zuerst in Jungknorpel übergehen; innerhalb des Quadratkörpers aber erscheint der Knorpel bald zuerst im Proc. articularis, bald im Dorsalteil, und zwar in diffuser Weise, nicht in Form von Kernen. Die vollständige Verknorpelung schreitet dann schnell fort; man kann fernerhin nur feststellen, daß die medialen Bezirke des Quadratkörpers ganz allgemein früher in Knorpel übergeführt werden, wie die lateralen; der Rand des Quadratbeckens bleibt bis zuletzt am weitesten zurück. Diese Erscheinung

[1]) H. Lundvall, Über Demonstration embryonaler Knorpelskelette. Anat. Anz., Bd. 25, 1904, und Bd. 27, 1905.

kräftigt den schon von anderen geführten Nachweis, daß eben nicht alles Vorknorpelgewebe in Knorpel übergeht. So trägt der erwähnte ringförmige Rand des Quadrats zweifellos ebenso zur Bildung des Trommelfells bei, wie die zentral darin gelegene, noch immer vorknorpelige Extracolumella. Auch ich kann also in Übereinstimmung mit anderen Autoren (Jaekel,[1]) Lubosch[2]) u. a.) dem ersten Auftreten von Knorpelgewebe nicht jene morphologische Bedeutung beimessen, welche ihm von mancher Seite beigelegt worden ist.

Betrachten wir nun wieder die beiden hier zunächst interessierenden Visceralbögen und die in ihrer Nachbarschaft sich abspielenden weiteren Vorgänge, die Bildung der Paukenhöhle.

Der Kieferbogen ist bei einigen Embryonen zum größten Teil, bei anderen vollständig in Knorpel übergeführt. Der Meckelsche Knorpel ist dem Quadrat noch immer etwas voraus; er ist stets schon ganz in Jungknorpel umgewandelt, durch ein Perichondrium abgegrenzt und bildet mit dem Knorpelbogen der anderen Seite eine Einheit. Bei einigen Embryonen beginnt schon die Deckknochenbildung gleichzeitig an der lateralen und medialen Seite. Am frühesten erscheinen Dentale und Goniale, während die anderen Deckknochen des Unterkiefers erst angedeutet sind.

Das Quadrat hat den Höhepunkt seiner Gesamtausdehnung erreicht und umschließt jetzt größtenteils knorpelig die Höhlung, in welcher das Distalende der Columella und der sich bildende Paukenraum liegen. Das Kaudalende des Quadratkörpers hat sich im Sinne einer Kreisbewegung weiter ventralwärts ausgedehnt und so dem Proc. articularis wieder mehr genähert. Hierdurch ist der nach hinten unten sich öffnende Ausschnitt des Quadratbeckens noch mehr verengert worden und fast in einen Kanal umgewandelt. Dementsprechend hat der Raum, durch welchen der mittlere Teil des Gehörknöchelchens zieht, eine weitere Beschränkung erfahren. Ferner hat sich der orale Rand des Beckenausschnittes verdickt und bildet jetzt einen Vorsprung, welcher lateralwärts in die Höhlung hineinragt und sich nach unten in den Proc. articularis fortsetzt, den Proc. tympanicus quadrati. Letzterer beginnt jetzt die Gestalt der Columella zu beeinflussen, indem er den mittleren Abschnitt derselben nach hinten und unten konvex ausbiegt. Auch der bisher noch weniger klare äußere Rand des Quadratbeckens hat sich weiter vorgeschoben und zeigt Neigung, sich gegen die Höhlung etwas einzurollen. Auf diese Weise entsteht der etwa kreisförmige Falz, in welchem sich das Trommelfell ausspannt. Zugleich ist die ganze Wand des beckenförmigen Quadratkörpers alternierend mit der zunehmenden Ausdehnung des Paukenlumens dünner geworden.

Der Processus pterygoideus, welche am frühesten in Knorpelgewebe übergeführt wird, besteht in unveränderter Form und Größe. Von der Anlage eines Processus ascendens ist nach wie vor nichts zu bemerken. Die Bildung des Epipterygoides kann also nicht auf die Weise vor sich gehen, wie sie Kunkel bei Emys beschrieben hat, sondern wahrscheinlich erst viel später durch eventuelle Abgliederung des vorderen Teiles des Pterygoidfortsatzes, wie es Gaupp[3]) angegeben hat.

---

[1]) O. Jaekel, Über die primäre Gliederung des Unterkiefers. Sitzungsber. d. Naturforsch. Freunde. Berlin 1905.

[2]) W. Lubosch, Die embryonale Entwicklung des Knorpelgewebes und ihre stammesgeschichtliche Bedeutung. Biol. Zentralbl., XXIX, 1909.

[3]) E. Gaupp, Handbuch der vergleichenden und experimentellen Entwicklungsgeschichte, herausgegeben von O. Hertwig, Bd. III, Teil 2, 1905, p. 789.

Von Deckknochen sind das Pterygoid und das Sqamosum zu nennen. Letzteres ist erst als kleine flache Gewebsplatte über dem hinteren äußeren Quadratteil zu bemerken. Das Pterygoid aber hat sich schon in großer Ausdehnung längs der Ventralseite des knorpeligen Proc. pterygoideus quadrati (Chondropterygoid) gebildet. Es stellt eine längliche Knochenplatte dar, welche von oral und medial nach kaudal und lateral orientiert ist. Das hintere Ende dieses Deckknochens reicht unter der Basis des Chondropterygoids bis an die Innenseite des Quadratkörpers und hilft hier den Spalt zwischen Ohrkapsel und Quadrat von vorn verschließen. Das Vorderende des Pterygoides überlagert von ventral her das Kaudalende des Palatinums, welches sich ihm oral und etwas medial anschließt. Das Pterygoid tritt uns also in jener ursprünglichen Form und Lage als ein Deckknochen der Pars palatina des Palatoquadrates entgegen, welche Gaupp[1]) letzthin näher erörtert hat.

Das Kiefergelenk (Textfig. 11) ist jetzt, nachdem seine beiden Komponenten in Knorpel umgewandelt sind, deutlich zu erkennen. Das Gelenk besteht vorerst nur aus einer flachen Pfanne am Hinterende des Meckelschen Knorpels und einer entsprechenden Condylusanlage am Quadrat. Der Gelenkkopf tritt regelmäßig früher in die Erscheinung, wie die Pfanne. Mit der weiteren Entwicklung des Quadrates nach außen, an welcher auch der Gelenkfortsatz teilnimmt, und mit der Verknöcherung des Quadrates wird sich daraus ein bicondyles Gelenk entwickeln. Gelenkspalt und -kapsel treten erst später hervor.

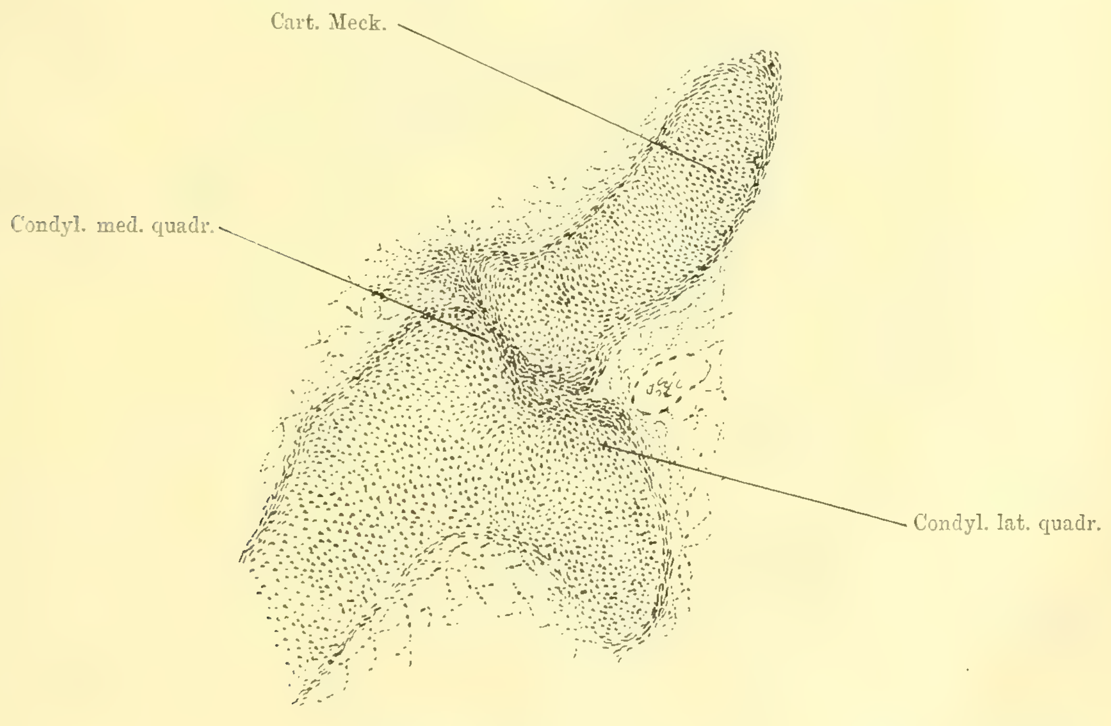


Fig. 11.
Embryo 113 c, Horizontalschnitt durch das Kiefergelenk. Vorknorpelstadium mit Übergang in Jungknorpel. L. 3, Oc. 3, M. T.

[1]) E. Gaupp, Säugerpterygoid und Echidnapterygoid, Anat. Hefte, Bd. 42, 1910.

Die Columella auris (Taf. VI, Fig. 21, Textfigg. 12 u. 13) verknorpelt schon vor dem Quadrat völlig und einheitlich. Auch im Zentrum des Insertionsteiles der Extracolumella findet sich jetzt Übergang in Jungknorpel, die Peripherie des Insertionsteiles besteht aber noch aus Vorknorpel. Sonst ist die ganze Gehörknöchelanlage nach wie vor in sich einheitlich. Erst mit der Verknöcherung der Columella oder des Stapes, welcher die Extracolumella bekanntlich nicht folgt, tritt eine Grenze zwischen dem medialen Teil und der Extracolumella auf. Das Proximalende hat sich jetzt meist schon zu einer deutlichen Fußplatte umgewandelt, welche überall genau abgrenzbar, in die Fenestra ovalis der Ohrkapsel eingelassen ist. Beider Gewebe sind, wie bisher, völlig voneinander getrennt. Es ist von Wichtigkeit, daß sich zwischen der Fußplatte und dem Lumen des Vestibulums anfangs noch ein dünner Streifen vorknorpeligen Gewebes von der Ohrkapsel aus ent-

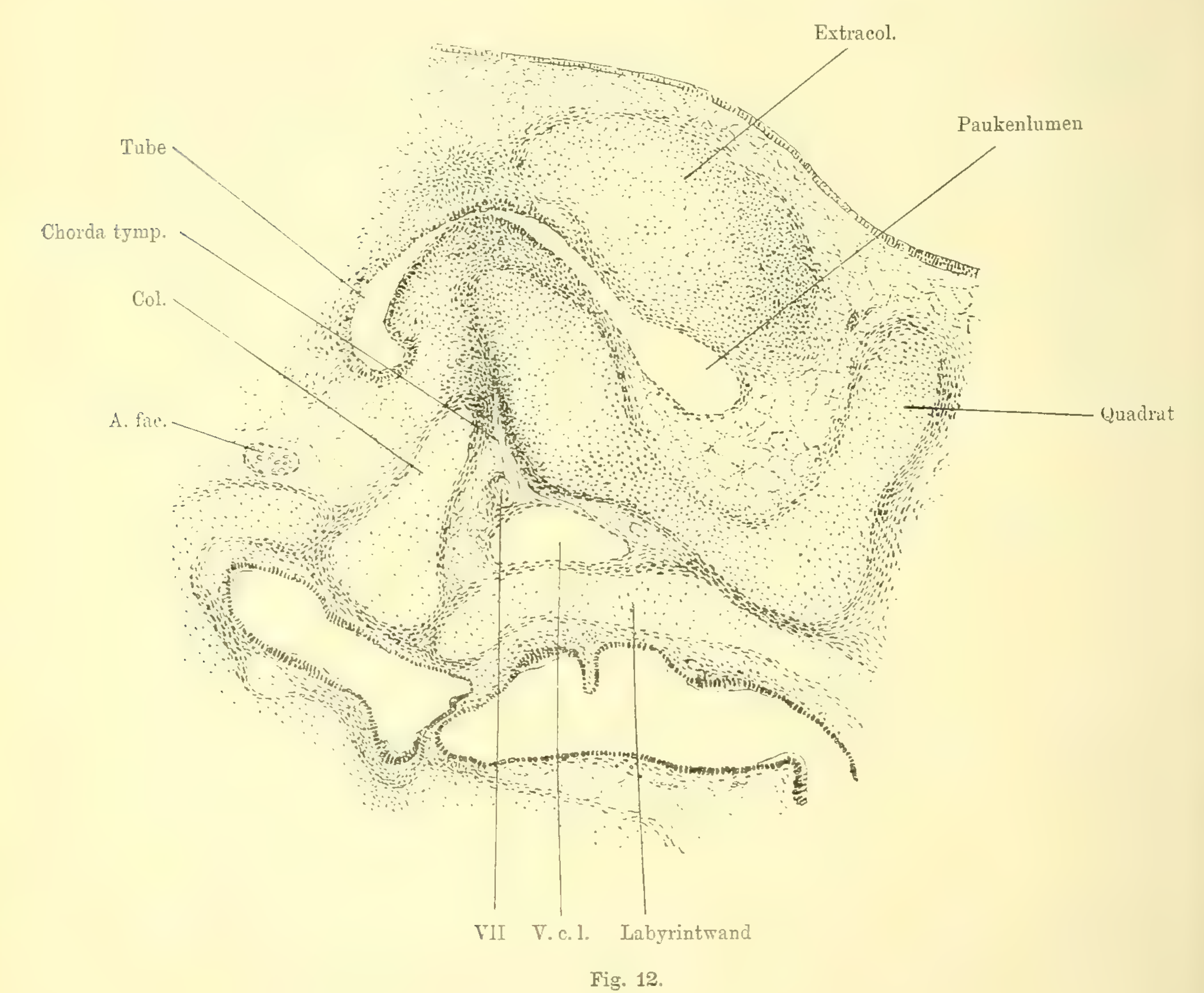


Fig. 12.

Embryo 50a, Horizontalschnitt, Jungknorpelstadium. L. 3, Oc. 3, M. T.

wickelt, welcher dann aber unter dem Druck der Fußplatte schwindet, so daß das Fenster in der Ohrkapsel dann erst völlig offen ist. Auch dieser Umstand, der schon bei Sauriern erwähnt worden ist, spricht gegen die Herkunft eines Teiles der Columella von der Ohrkapsel. An dem ganzen Gebilde ist auch jetzt kein Fortsatz, Band- oder Muskelansatz zu bemerken. Das Gehörknöchelchen ist besonders in seinem mittleren stabförmigen Teil viel schlanker geworden und hat durch den sich entwickelten Proc. tympanicus, dessen Kaudalfläche die Stapesmitte eng anliegt, die schon erwähnte leichte Krümmung nach unten und

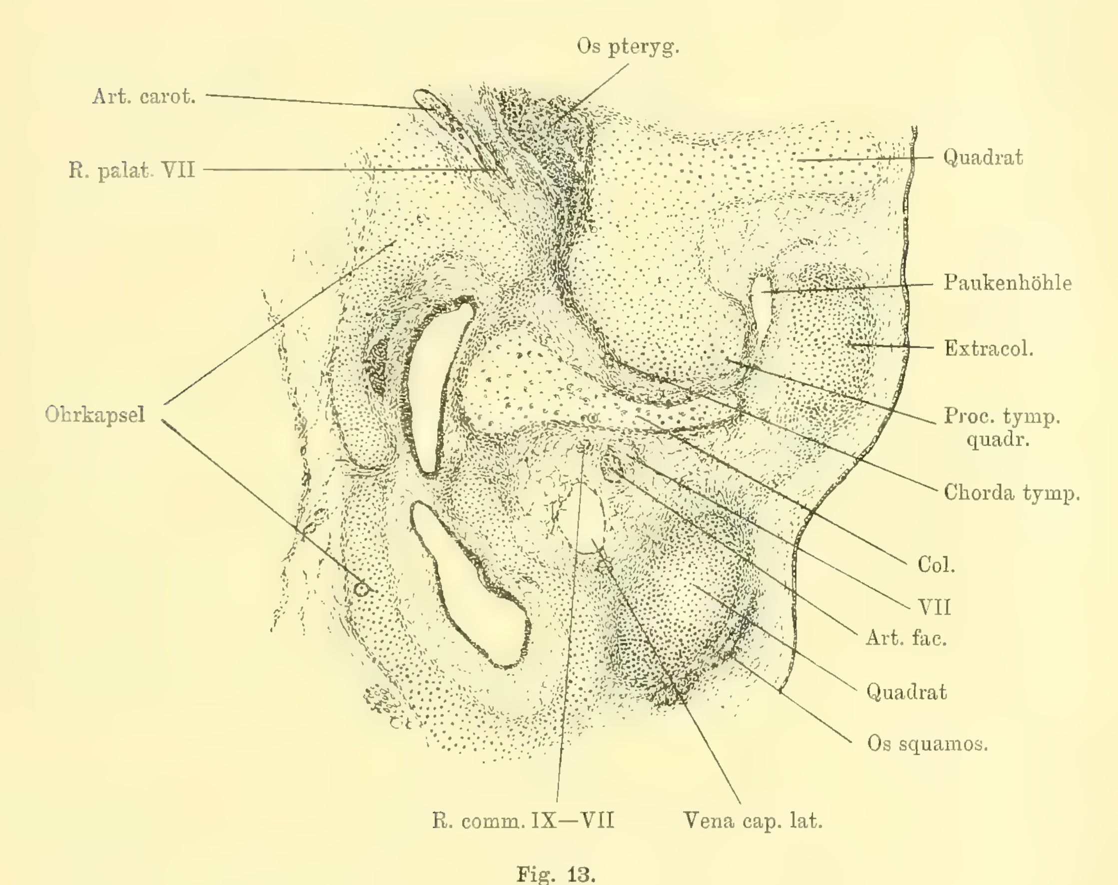


Fig. 13.

Embryo 113 e, Horizontalschnitt, reifes Knorpelstadium. L. 3, Oc. 3, M. T. Vergr. 2/3.

hinten erfahren. Hierin zeigt sich nun auch an der Columella eine leichte Druckwirkung durch das Quadrat, wie sie schon in viel höherem Grade an den Rudimenten der beiden die Paukenhöhle liefernden Visceraltaschen festgestellt worden ist.

Die Extracolumella hat jetzt etwa die Form eines Pilzes mit schmalem Stiel und großem Schirm. Der Schirm überdacht von außen den gleich zu beschreibenden Blindsack der Paukenhöhle. Bei zwei Embryonen sah ich vom ventralen Rand des Schirmes ein Band gegen das Hinterende des Meckelschen Knorpels ziehen, das es jedoch nicht ganz erreicht. Einmal war ein kleines Knorpelstückchen in das Band eingelagert.

Fuchs[1]) und Kunkel[2]) haben dieses Band schon beschrieben. Von der Deutung, welche demselben gegeben worden ist, soll später die Rede sein.

Die Paukenhöhle. Von den beiden Schläuchen, welche sich sekundär innerhalb der Quadrathöhlung zu einer sackartigen Erweiterung vereinigt haben, ist der obere, welcher von der Hyomandibulartasche stammt und sich zuletzt durch den immer enger werdenden Quadratausschnitt hindurchzwängen mußte, nunmehr durch den Quadratrand völlig abgeschnürt worden. Wir treffen jetzt statt der beiden Schläuche nur noch einen, welcher, wie bisher, vom lateralen Rand des Mundhöhlendaches hinter dem Kiefergelenk her nach oben und außen in die Quadrathöhlung hinaufsteigt (Taf. VI, Fig. 21); dort wendet er sich, durch die Verbreiterung der Extracolumella von außen verdeckt, nach vorn und oben und geht in die schon beschriebene sackartige Erweiterung an der Vorderseite der Columella, resp. des Stieles der Extracolumella, über. Dieser Schlauch ist jetzt, im Gegensatz zu dem obliterierten, geräumiger geworden und kann nach seiner ganzen Lage und Form zu dieser Zeit der Ontogenese sehr wohl als eine Tube bezeichnet werden. Der Blindsack hat sich innerhalb der nur mit weitmaschigem Bindegewebe ausgefüllten Quadrathöhle, in welcher ihm kein Widerstand entgegentritt, über die Columella hinweg nach hinten ausgedehnt und ragt jetzt auch in den hinteren Teil der Höhlung hinein. Die Höhlung hat sich auf Kosten der Wandung weiter vergrößert.

Dieser Befund, welcher schon mehrfach beobachtet worden und auch bei anderen Reptilien bekannt ist, erscheint, abgesehen von dem Einblick in diesen speziellen Fall, insofern lehrreich, als er zeigt, zu welchen Schlüssen man kommen kann, wenn man ein nicht genügend großes Material zur Verfügung hat und so auf die Deutung aus einzelnen, vielleicht nicht einmal charakteristischen Befunden angewiesen ist. Nur ohne Kenntnis und Berücksichtigung der bisher beschriebenen Stadien könnte man das letztbeschriebene so deuten, als ob die Paukenhöhle mit den ersten Visceralspalten gar nichts zu tun habe, sondern nach deren Obliteration als eine neue spätere Ausstülpung zustande käme; und tatsächlich ist diese Auffassung offenbar gerade auf das letztere, bei Reptilien schon öfter beobachtete Stadium hin von anderen Autoren vertreten worden. Daß eine derartige Ableitung der Paukenhöhle bei T. graeca durchaus irrig wäre, geht aus diesen Ausführungen einwandfrei hervor.

Dem lateralen oder eigentlichen Paukenraum innerhalb des Quadratkörpers ist nun der Spalt zwischen Quadrat und Ohrkapselgegend des Schädels als medialer Paukenraum (Recessus tympanicus) gegenübergestellt worden. Dieser Raum, welcher schließlich durch die knöcherne Vereinigung des Quadrats mit der Ohrkapsel bis auf die erwähnfe Lücke am hinteren unteren Winkel knöchern abgeschlossen wird und welcher von früheren Autoren, vor allem von Hasse,[3]) genau beschrieben worden ist, enthält aber niemals ein Lumen (Textfigg. 12 u. 13). Man muß hier zwischen Raum und Lumen unterscheiden; ersterer bedingt noch nicht letzteres. Der genannte Raum hat mit der Bildung der eigent-

[1]) H. Fuchs, Über die Entwicklung des Operculums der Urodelen und des Distelidiums (Columella auris) einiger Reptilien. Verhandl. Anat. Ges. Würzburg 1907.

[2]) B. W. Kunkel, Zur Entwicklungsgeschichte und vergleichenden Morphologie des Schildkrötenschädels. Anat. Anz., Bd. 39, 1911.

[3]) C. Hasse, Das Gehörorgan der Schildkröten. Anat. Studien, Bd. I, 1873.

lichen Paukenhöhle nichts zu tun, ein Umstand, welcher bisher anscheinend nicht erkannt worden ist. Der Spalt kommuniziert also nicht mit der Paukenhöhle durch den Columellakanal, sondern das Lumen der Paukenhöhle endigt am Lateralausgang des Kanals; auch der Kanal ist also ohne Lumen und wird, wie sich zeigen wird, vollständig durch das Gehörknöchelchen ausgefüllt. Der Raum zwischen Quadrat und Ohrkapsel aber ist vollständig von Bindegewebe eingenommen, welches alle zum Mittelohr in Beziehung stehenden Gefäße und Nerven durchlaufen.

Im Anschluß an das über den Zungenbeinbogen Gesagte ist noch nachzutragen, daß sich jetzt nur noch der ganz kurze Proc. ant. lat. als Rest des Ventralteiles des Bogens am Zungenbeinkörper findet. Nach vorn hat sich der bereits in Knorpel übergegangene, langgestreckte Processus lingualis entwickelt. Ventral und oral von dessen Spitze ist jetzt zum ersten Malebei manchen Embryonen eine kleine noch jungknorpelige Zellanhäufung zu sehen, die Anlage des Entoglossums. Dieses entsteht also erst viel später, wie das Visceralskelett, und ohne jeden genetischen Zusammenhang mit diesem und geht dann sehr schnell in Knorpelgewebe über. Der knorpelige erste Branchialbogen zieht in beträchtlicher Entfernung unterhalb der Ohranlage am Boden der Mundhöhle nach hinten und oben. Medial von ihm ist der viel kürzere zweite Branchialbogen gleichfalls knorpelig angelegt. Von diesem Teil des Visceralskelettes wird, wie schon erwähnt, in einer späteren Mitteilung eingehender die Rede sein.

Über die Gefäße und Nerven ist nicht viel Neues zu berichten. Die Vena capitis lateralis und die von der Carotis interna abgehende kleine Arteria facialis (Textfigg. 12 u. 13) behalten ihren schon geschilderten Verlauf innerhalb des Spaltes bei. Die Vene liegt stets dicht an der Ohrkapsel, durchzieht den Spalt im Bogen von oral und dorsal nach kaudal und ventral und verläßt ihn dann an der offen bleibenden Lücke am hinteren unteren Winkel. Die kleine Arterie tritt an derselben Lücke ein und durchzieht den Spalt in ziemlich geradem Verlauf von unten nach oben. Sie steigt dabei, wie schon geschildert, hinter der Columella und dem Facialis empor und kreuzt spitzwinklig dann die Außenseite der Vene in der Richtung zur Schläfengrube.

Auch der Verlauf des Facialisstammes ist bekannt. Besonderes Interesse erfordern jetzt die Rami communicantes mit dem Trigeminus und Glossopharyngeus, sowie die Chorda tympani (Taf. VII, Fig. 25). Das Ganglion geniculi mit dem vom Munddach kommenden R. palatinus liegt am Vorderrande der lateralen Ohrkapselwand nahe der hinteren Spitze des Pterygoides.

Zunächst ein kurzes Wort über den R. palatinus, dessen erschöpfende Darstellung zu sehr über den Rahmen des vorliegenden Themas hinausgeführt hätte. Der Nerv wurde nur bis zur sogenannten kaudalen Anastomose mit dem Trigeminus verfolgt, welche dorsal vom Vorderende des Pterygoides liegt. Auf dieser zentralen Strecke ist der R. palatinus weder in einen Knochenkanal eingeschlossen, noch liegt er zwischen Cranium und Deckknochen, sondern er verläuft frei an der Basis des Primordialcraniums, medial von der Innenkante des Pterygoides. Ich habe an anderer Stelle[1]) für alle Wirbeltierklassen nachgewiesen, daß nur die Beziehung dieses Nerven zur primordialen Schädelbasis primitiv und konstant ist. Diese auf vergleichend-anatomischem Wege nachgewiesene Tatsache erhält jetzt durch die

[1]) l. c. 1906/07, für Schildkröten spec. p. 386—392.

geschilderte Ontogenese dieses Nerven bei T. graeca eine weitere Stütze; in dem vorliegenden Nervenverlauf ist also klar und deutlich ein primitives Merkmal gegeben. Die Umschließung des R. palatinus durch Deckknochen ist selbstverständlich ein sekundärer Vorgang, der ganz anders zu beurteilen ist, wie das letzthin auch Gaupp[1]) in Übereinstimmung mit mir gegenüber Fuchs betont hat.

Kurz vor Eintritt des R. palatinus in das Ganglion geniculi entläßt er einen R. communicans, welcher in Begleitung der Arteria carotis unterhalb des Mittelohres zum Ganglion des Glossopharyngeus verläuft. Wir haben hier also eine in den jüngeren Stadien noch nicht so deutliche zweite untere Schlinge zwischen Facialis und Glossopharyngeus vor uns. Der Hauptstamm des Facialis teilt sich wiederum kurz vor oder während des Überquerens der Columella in die bekannten drei Äste: den schon geschilderten oberen R. communicans IX—VII, die Chorda tympani und den R. hyomandibularis. Es bestehen also zwei sympathische Schlingen zwischen Facialis und Glossopharyngeus, welche sich kurz vor dem Eintritt in das Ganglion des letzteren vereinigen. Nahe dieser Stelle gehen ein bis zwei feine Ästchen in der Richtung auf die Paukenhöhle ab, die Paukennerven, welche ich schon früher (1906/07) beschrieben habe.

Das Verhalten der Chorda tympani (Taf. VII, Fig. 25, Textfigg. 12 u. 13) ist durch sekundäre Verlaufsveränderungen, welche unter dem Einfluß der Quadratentwicklung, speziell des Processus tympanicus znstande kommen, gekennzeichnet. Den Verlauf dieses Nerven habe ich gleichfalls schon früher, auch bei verschiedenen Schildkrötenarten, beschrieben und konnte nachweisen, daß die Chorda tympani ursprünglich als ein Ast des Hyoidbogensnervs zu diesem Bogen gehört und erst nach Schluß und Reduktion der Hyomandibularspalte in das Gebiet des Kieferbogens gelangt sein kann. Es ergab sich ferner, daß diese Beziehung des Nerven zum Kieferbogen und -gelenk, schon frühzeitig erworben und außerordentlich konstant, nur auf dem Wege der Vergleichung zu verstehen ist. Der Nerv wurde immer an der Innenseite des Kiefergelenks und des Meckelschen Knorpels gefunden; wenn ihn nicht sekundäre und variable Fortsatzbildungen der Columella auris ablenkten (Rhynchocephalen, Lacertilier, Krokodilier), auch schon in nächster Nähe der Innenseite des Quadrats (Geckoniden). Letzterer Fall trifft nun bei allen Schildkröten, so auch bei T. graeca zu. Die Columella auris ist hier von Anfang an ein einfacher stabförmiger Skeletteil, welchen die Chorda tympani zu keiner Zeit der Ontogenese überschreitet. Der schalleitende Apparat der Schildkröten wird also nur einmal vom N. facialis gekreuzt und zwar vom R. hyomandibularis. Die Chorda tympani dagegen bleibt vor der Columella. Der Nerv löst sich dicht vor dem Gehörknöchelchen vom Hauptstamm ab, folgt jetzt im Gegensatz zu jüngeren Stadien der Columella nicht mehr lateralwärts, sondern senkt sich vor ihr innerhalb des Ausschnittes des Quadratbeckens, d. h. des Columellakanals, ventralwärts. Auf dieser Strecke wird der Nerv jetzt etwa zwischen Kaudal- und Medialfläche des Processus tympanicus gefunden; weiter distal folgt er dann der Hinterfläche des Processus articularis quadrati. Kaudal und etwas lateral von ihm lagert der jetzt noch lang ausgezogene Verbindungsschlauch zwischen Mundhöhle und Mittelohr, die zu dieser Zeit sehr ausgesprochene Tuba Eustachii. Der Nerv liegt also, wie nochmals betont sei, oral von

[1]) l. c., Anat. Hefte, Bd. 42, 1910, p. 399—400.

der von einer Visceralspalte abgeleiteten Tube, ist also zu ihr gerade umgekehrt orientiert, wie zur Hyomandibularspalte in frühen Entwicklungsstadien. Es wurde bereits angeführt, daß auch hierin ein Beweis dafür zu sehen ist, daß die nun vorhandene Tube nicht auf die Hyomandibulartasche, sondern auf die erste Branchialtasche zurückzuführen ist, da die Chorda tympani andernfalls kaudal von der Tube zu erwarten wäre. Der Nerv folgt dann dem Gelenkfortsatz des Quadrats bis zum Kiefergelenk, an welchem er in großer Nähe und in einer für alle Nichtsäuger charakteristischen Orientierung vorbeizieht, auf die ich in früheren Untersuchungen genügend eingegangen bin. Dann wendet sich der Nerv nach vorn und erreicht die Innenseite des Meckelschen Knorpels an seinem hintersten Ende. Gleich darauf erfolgt die Anastomose mit dem dritten Trigeminusaste.

V. Stadium des reifen Knorpels, Beginn der Ersatzknochenbildung.

3 Embryonen (Taf. VI u. VII, Textfigg. 13—15).

Die hier zu Grunde gelegten Embryonen haben ihre Ausbildung im wesentlichen vollendet und stehen teils dicht vor dem Ausschlüpfen, teils sind sie direkt nach demselben fixiert worden. Die Embryonen wurden vor der Einbettung entkalkt; einer derselben wurde wiederum nach Lundvall aufgehellt. Alle Teile zeigen nun die Verhältnisse des fertigen Tieres. Die Ohrgegend besitzt ein Trommelfell, welches die äußere Öffnung der Quadrathöhlung abschließt. Die Extremitäten sind fertig entwickelt; der Bauchschild ist nach fast völliger Resorption des Dottersackes nahezu geschlossen. Die Längen des Rückenschildes schwanken zwischen 11 und 25 mm.

Die Befunde aus diesen Serien bieten naturgemäß gegenüber denjenigen aus dem Knorpelstadium in den hier verfolgten Fragen keine großen Unterschiede mehr und können, da sie andererseits direkt zu fertigen Zuständen hinüberleiten, kürzer abgehandelt werden. Betreffs der Entwicklung des Kieferbogens, der Columella auris und der Paukenhöhle sind die entscheidenden Vorgänge ja in früheren Epochen der Ontogenese gefunden worden. Was wir jetzt noch kommen sehen, ist gewissermaßen nur ein Starrwerden bis dahin weicher und biegsamer Formen und Verhältnisse.

Im Bereich des Meckelschen Knorpels sind jetzt alle Deckknochen angelegt und haben ihn bei einem Embryo bereits völlig umschlossen. Außer dem Dentale und dem Goniale sind ein Angulare, Supraangulare und ein Complementare aufgetreten. Nur das der Artikulation dienende Ende das Meckelschen Knorpels bleibt erhalten und frei von Verknöcherung. Der Gelenkknorpelüberzug des als Ersatzknochen entstehenden Artikulare geht direkt aus dem Meckelschen Knorpel hervor. Das Kiefergelenk hat sich jetzt ganz herausgebildet. Entsprechend der Ausdehnung des Quadrats nach außen, welche erst relativ spät zum Abschluß kommt, berühren sich Unterkiefer und Quadrat jetzt in größerer Ausdehnung. Aus einem anfangs einfachen Charniergelenk ist jetzt ein bicondyles Gelenk geworden, wie es die ausgebildete Schildkröte (Textfig. 14, Taf. VI, Fig. 23) besitzt. Der Unterkiefer trägt zwei nebeneinanderstehende flache Pfannen, welche durch einen sagittal stehenden niedrigen First voneinander getrennt sind. In den Pfannen artikulieren zwei analoge, durch eine ebenfalls sagittal gestellte Nute getrennte Condylen des Quadrats. Das Ganze wird von einer gemeinsamen Gelenkhöhle umschlossen. Ein Proc. retroarticularis des Unterkiefers fehlt.

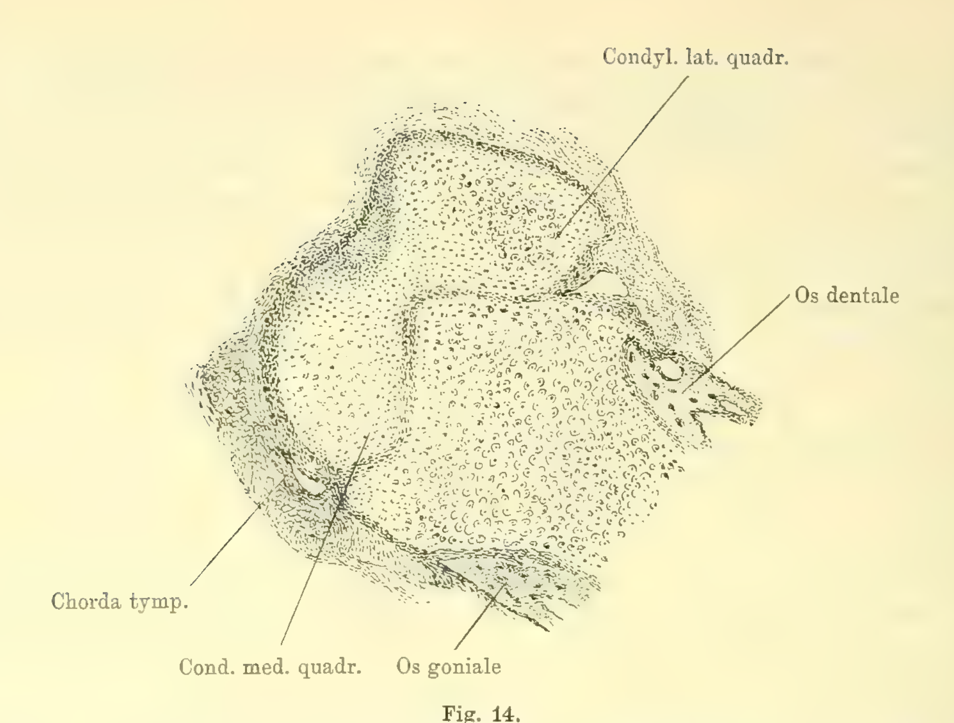


Fig. 14.
Embryo 38c, Horizontalschnitt durch das Kiefergelenk; reifes Knorpelstadium mit fortgeschrittener Deckknochenbildung. L. 3, Oc. 3, M. T. Vergr. $^{2}/_{3}$.

Das Quadrat besteht aus reifem Knorpel; bei dem ältesten Embryo ist das Knorpelgewebe bereits in hohem Grade durch aufgelagerten Ersatzknochen verdrängt. Der Proc. pterygoideus existiert noch immer als ein dicker, nach oral und medial gerichteter Knorpelstab; seine Spitze zeigt noch jene leichte Abbiegung lateralwärts. Der Fortsatz besteht auch jetzt noch fast ganz aus Knorpelgewebe, er ist also noch immer als ein Chondropterygoid zu bezeichnen; nur bei dem ältesten Embryo ist er von einer Schale von Ersatzknochen umgeben. Noch immer vermißt man in den Schnitten wie an den Modellen (Taf. VII, Fig. 24) jede Andeutung eines Processus ascendens. Da sich ferner auch keine Abgliederung der Spitze bemerkbar macht, so vermag ich über die Entwicklung des Epipterygoides nichts auszusagen. Vielleicht entsteht dasselbe gesondert, ohne Zusammenhang mit dem Proc. pterygoideus. Das sehr vergrößerte knöcherne Pterygoid ist dem Chondropterygoid eng angelagert und umfaßt es rinnenförmig von ventral und medial. Die ganze Wandung des Quadratkörpers ist dünnwandiger geworden, seine Höhlung hat sich im gleichen Maße vergrößert, und wird jetzt größtenteils von den Lumen der Paukenhöhle eingenommen. Der nach hinten unten offene Ausschnitt des Quadratkörpers ist vor allem durch die Dickenzunahme des Proc. tympanicus nahezu in einen Kanal umgewandelt. Der Körper des Quadrats besteht nun aus reifem Knorpelgewebe, welchem an der Medialseite, gegen die Ohrkapsel zu und im Bereich des Columellakanals dicke Streifen von Ersatzknochen aufgelagert sind: geringer ist die Ersatzknochenbildung am lateral offenen Ring, in welchen sich das Trommelfell ausspannt. Quadratkörper und Ohrkapsel beginnen miteinander zu verschmelzen. Bei dem ältesten der vorliegenden Embryonen ist der Columellakanal bereits

nahezu geschlossen. Der Kanalabschluß erfolgt gleichzeitig mit dem Auftreten der Ersatzknochenbildung. Der Kanal ist so eng, daß er nur dem Columellastäbchen mit seinem perichondralen Überzug Raum gewährt; es tritt also weder das Lumen der Paukenhöhle, noch ein Gefäß oder Nerv durch den fertigen Kanal hindurch.

Wie die Columella auris frühzeitig in Knorpelgewebe übergeht und ihrer Umgebung, besonders dem Quadrat und der Ohrkapsel, immer in der Entwicklung voraus eilt, so trägt sie auch zu einer Zeit, in der Ersatzknochenbildung am Quadrat erst einsetzt, schon einen ausgedehnten Knochenmantel (Textfig. 15). Fußplatte und Mittelteil bilden jetzt einen einheitlichen Stapes, dessen Achse aus reifem Knorpel besteht, der von einer dünnen Knochenhülse umfaßt wird; rein knorpelig bleibt nur der Stiel und der Insertionsteil der Extracolumella. Jetzt erst tritt innerhalb des Gehörknöchelchens eine Grenze auf, die Grenze zwischen der verknöchernden Columella und der knorpelig bleibenden Extracolumella (Taf. VI, Fig. 22). Diese Grenze liegt etwa in der Mitte der Quadrathöhlung, resp. der Paukenhöhle. Der sehr dünne Stapes ist in Übereinstimmung mit dem Kanal von medial, ventral und kaudal nach lateral, dorsal und oral gerichtet. Die Fußplatte und das anschließende Stück des Stapes sind in das Bindegewebe des Raumes zwischen Quadrat

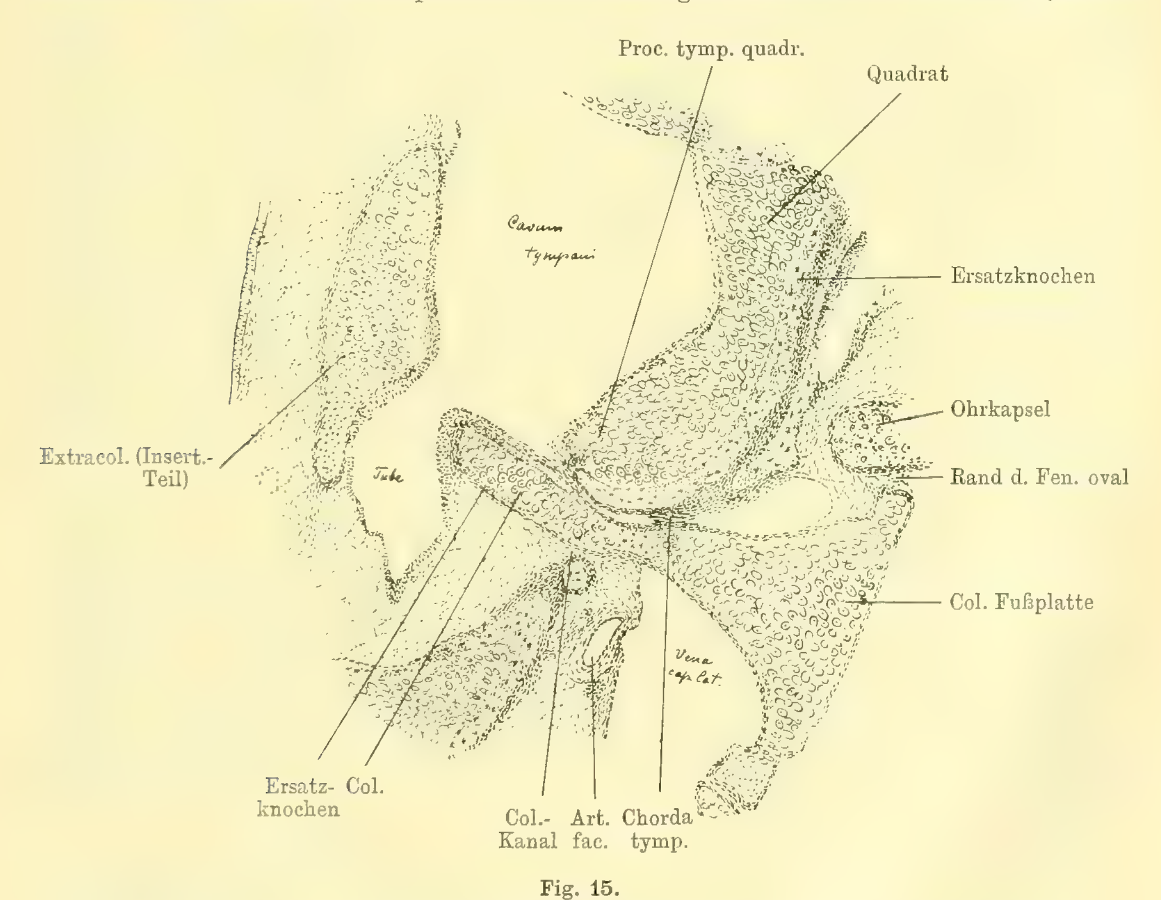


Fig. 15.

Embryo 38 c, Horizontalschnitt; Beginn der Ersatzknochenbildung; Stiel der Extracolumella nicht getroffen. L. 3, Oc. 1, M. T. Vergr. 2/3.

und Ohrkapsel eingebettet und besitzen dementsprechend keinen Schleimhautüberzug. Die Mitte des Stapes liegt innerhalb des Columellakanals der Hinterseite des Proc. tympanicus in größerer Ausdehnung dicht an und wird durch denselben, wie schon geschildert, etwas in kaudaler Richtung ausgebogen. Zwischen Stapes und Kanalwand befindet sich nur ein schmaler Perioststreifen. Durch diese Anlagerung wird augenscheinlich eine Übertragung der Schallwellen vom Stapes auf das Quadrat möglich, durch welche wohl eine erhebliche Verschärfung der Hörfähigkeit zustande kommt. Erst das laterale Drittel des Stapes ragt in die Paukenhöhle hinein und ist hier von Paukenschleimhaut überzogen.

Die Columella auris hat jetzt also ihre definitive Gestalt und Lage erhalten. Wie die ganze Ohrgegend, so steht auch das Gehörknöchelchen, nachdem es sich schon im frühen Blastemstadium vom Hyoidbogen abgegliedert hat, während seiner ganzen späteren Ontogenese unter dem Einfluß der Quadratentwicklung. Zum Vergleich mit diesem letzten Embryonalzustand gebe ich eine Abbildung des Gehörknöchelchens beim erwachsenen Tier (Taf. VI).

Die Extracolumella setzt sich aus Stiel und Insertionsteil zusammen (Taf. VI, Fig. 22 u. VII, 25). Der Stiel ist dreikantig und besteht aus elastischem Knorpel. Die Verbindung zwischen Stapes und Extracolumella ist eine Syndesmose, kein Gelenk. Lateral fließt der Stiel nach Art eines Kelchfußes in die runde Insertionsplatte auseinander, welche in die Mitte des Trommelfells eingelassen ist; dieses spannt sich in dem nahezu geschlossenen Ring des Quadratkörpers aus. Hinten unten, wo der äußere Rand des Ringes eine Lücke aufweist, ist das Trommelfell an einen sehnigen Strang angeheftet, welcher in die Wand der Tube übergeht; es handelt sich um den Rest jenes kurzen Bandes, in welches bei manchen Embryonen ein kleines Knorpelchen eingelagert ist, das aber später verschwindet. Seine Bedeutung kann nur darin liegen, der Tube, welche im jungen Knorpelstadium hier ohne Stütze ist, einen Halt zu gewähren. Sobald die Tube diese Stütze am fertigen Quadrat findet, bildet sich Band und eingelagerter Knorpel als überflüssig zurück.

Die Ohrkapsel ist noch immer hinter dem Quadrat und der Columella auris zurück, sie besteht aus reinem Knorpelgewebe, welches mit dem Cranium zu verschmelzen beginnt. Die Fenestra ovalis ist weit offen und umfaßt die distal bereits mit einem dünnen Knochenmantel bedeckte Fußplatte des Gehörknöchelchens. Der Raum zwischen Ohrkapsel und Quadrat enthält nach wie vor kein Lumen.

Der Zungenbeinkörper und der lange, vorn spitz auslaufende, mediane Processus lingualis sind jetzt ebenfalls in reifen Knorpel übergeführt. Erst zu dieser Zeit trifft man am Vorderende des Fortsatzes die schon knorpelige Anlage des Entoglossums. Dieser Skeletteil liegt ventral von der Spitze des Proc. lingualis, den er aber oral- und lateralwärts bedeutend überragt. Beide Skelettelemente sind trotz ihrer engen Nachbarschaft vollständig voneinander getrennt. Das Entoglossum hat nun schon ungefähr die Form und Ausdehnung, in welcher es Siebenrock[1]) bei T. graeca beschrieben hat. Die Entwicklung des Entoglossums geht also andere Wege, wie die des Hyoidbogenexemplares. Ein Blastem- oder Vorknorpelstadium wird übersprungen, das Entoglossum erscheint erst

[1]) F. Siebenrock, Der Zungenbeinapparat und Kehlkopf samt Luftröhre von Testudo calcarata (Schneid.). Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. zu Wien, Bd. 108, I, 1899. (Enthält auch Bemerkungen und Abbildungen betr. des Entoglossums von T. graeca.)

im Jungknorpelstadium als unabhängige knorpelige Anlage, die sofort in reifen Knorpel übergeht und definitive Form annimmt.

Die Paukenhöhle (Textfig. 15) hat sich auf Kosten der Quadratwand und des die Quadrathöhlung bisher füllenden Bindegewebes bedeutend vergrößert, so daß sie nun den größten Teil der Höhlung einnimmt. Der tubo-tympanale Raum ist auf die Quadrathöhlung beschränkt; niemals dehnt sich sein Lumen durch den Columellakanal hindurch in den Raum zwischen Quadrat und Ohrkapsel aus. Ein mediales Paukenlumen existiert nicht. Das Kaudalende des Paukenlumens hat sich weiter über die Columella hinweg nach hinten geschoben und hinter dem schalleitenden Apparat herabgesenkt. Im weiteren Verlauf dieses Vorganges erreicht dieses freie Ende des Paukensackes, wie man es im Gegensatz zu dem anderen Ende nennen kann, welches von Beginn an mit dem zur Tube werdenden Schlauch in Verbindung steht, gleichsam wieder seinen Anfang, nämlich die Übergangsstelle der Tube in die Pauke am Boden der Quadrathöhle. Das sackförmig geblähte Paukenlumen reitet also jetzt gleichsam auf dem distalen Columellaabschnitt, welchen es in Form eines geschlossenen Ringes umfaßt. Die beiden Paukenenden treten aber an ihrer Berührungsstelle nicht miteinander in Kommunikation, nur ihre Wände legen sich ventral und etwas kaudal vom schalleitenden Apparat aneinander an. Auf diese Weise kommt jene Schleimhautduplikatur zustande, welche beim entwickelten Tiere vom unteren Rand der Columella und des Stieles der Extracolumella zum Hinterrand der Tubenmündung zieht und dadurch als annähernd frontal gestellte Scheidewand die Paukenhöhle in ihrer ganzen Querausdehnung durchsetzt. Dringt man sonach von der Tube in die Pauke und folgt dieser um die Columella herum, so trifft man hinten unten auf diese Querlamelle, die einem Wiedereintreten in die Tube auf diesem Wege ein Ziel setzt. Hieraus ist zugleich ersichtlich, weshalb die Columella auris nicht frei im Paukenlumen, sondern innerhalb jener Schleimhautduplikatur liegt.

Von den Gefäßen und Nerven (Taf. VII, Fig. 25) erfordert nur die Chorda tympani eine nochmalige Besprechung. In jüngeren Stadien sahen wir den Nerven nach seinem Abgang vom Facialis zunächst dem vorderen Rand der Columella in den Quadratausschnitt hinein folgen und sich hier an der Hinterseite des Proc. tympanicus herabsenken. Durch das Auftreten der Ersatzknochen, besonders im Bereich des nahezu abgeschlossenen Columellakanals wird dieser so eingeengt, daß neben dem schalleitenden Apparat kein Platz mehr für den Nerven bleibt. Die Chorda tympani wird daher jetzt in der inneren Eingangspforte des Kanals, vor der Columella, angetroffen (Textfig. 15) und verläuft medial von der Kaudalspitze des Ersatzknochens, welcher sich auf dem Proc. tympanicus bildet, ventralwärts. Der Nerv gewinnt im weiteren Verlauf auf dem gewöhnlichen Wege die Innenseite des Kiefergelenkes und tritt gleich darauf zwischen die Lamellen des Deckknochens, welcher dem Gelenkteil des Unterkiefers medial anliegt, des Goniale. Hier vereinigt er sich alsbald mit dem Trigeminus und durchsetzt dann mit diesem zusammen die Mediallamelle des Deckknochens, so daß er nun zwischen Goniale und Meckelschem Knorpel liegt.

Der Verlauf dieses Nerven bei ausgebildeten Schildkröten ist innerhalb des Paukenbereiches so kompliziert und technisch so schwierig darzustellen, daß die Präparation hier zu Irrtümern führen, resp. unmöglich werden kann. Nach Aufmeißelung des Quadrats, speziell des Columellakanals, können leicht kleine Verlagerungen des Nerven erzeugt werden,

welche man nach der Freilegung nicht mehr als künstliche erkennen kann. So muß ich meine Angaben[1]) über den Verlauf der Chorda tympani bei ausgebildeten Schildkröten, die ich im übrigen vollauf bestätigen konnte, in einem Punkte richtig stellen. Die Chorda tympani gelangt nicht in den sogenannten lateralen oder eigentlichen Paukenraum, der Nerv bleibt vielmehr, nachdem er sich je nach der Entwicklungsstufe, auf welcher sich der Columellakanal resp. -halbkanal befindet, anfangs eine Strecke weit in diesen hinein begeben hat, späterhin doch immer an der Medialseite des Quadrats, vornehmlich des Processus tympanicus. Dieser posttrematische Facialisast, der ursprünglich bei jungen Embryonen dem Derivat seines Visceralbogens, der Columella auris lateralwärts bis zur Extracolumella folgte, wie ich hier nochmals betonen muß, erscheint später eben durch das Quadrat medialwärts gedrängt und bleibt schließlich doch an der inneren Eingangspforte des Columellakanals. Bei Noack[2]) finde ich genau denselben Befund angegeben. Noack sagt: „Während die Chorda tympani bei den jüngeren Embryonen an der aboralen Seite der Columella weit nach lateral ziehend, die kolbige Endanschwellung des Gehörknöchelchens durchsetzt, kreuzt sie bei den älteren Stadien viel weiter medial den Columellastiel.“ Das Wesentliche an dieser Beobachtung ist in Übereinstimmung mit dem über den R. palatinus VII Gesagten die Tatsache, daß alle diese Besonderheiten des Nervenverlaufes durch sekundäre und lokale Eigentümlichkeiten der Skelettentwicklung bedingt und daher für morphologische Beurteilung von untergeordneter Bedeutung sind. Will man diese sekundären Vorgänge mit primitiven Ausgangszuständen vergleichen, so ist das natürlich nur unter vorhergehender Aufklärung und Berücksichtigung dieser sekundär abändernden Ursachen möglich.[3])

Über die übrigen Äste des Facialis, seine Anastomosenbildungen mit dem Glossopharyngeus und über die besprochenen Gefässe wäre nichts besonderes mehr hinzuzufügen; sie sind in ihrem definitiven Verlauf hinreichend geschildert worden. Es sei nur nochmals hervorgehoben, daß alle zum Mittelohr in Beziehung stehenden Gefäße und Nerven einschließlich des Facialisstammes selbst nur den Raum zwischen Ohrkapsel und Quadrat durchziehen, niemals die lateral vom Columellakanal befindliche Quadrathöhlung, resp. die in ihr gelegene Paukenhöhle. Der Columellakanal enthält nur das Gehörknöchelchen.

Zusammenfassung und Vergleichung.

Die Entwicklung der ersten beiden Visceralbögen und -spalten mußte zunächst an der Hand einzelner Stadien nacheinander abgehandelt werden. Diese Methode erschwert aber naturgemäß die Übersicht über einzelne Fragen und erfordert deshalb eine nochmalige

---

[1]) l. c. p. 387 und 392. [2]) l. c. p. 481.

[3]) Diese Überlegung ist auch ohne diese Belege so selbstverständlich, daß man es für unmöglich halten sollte, daß sie bei morphologischen Betrachtungen außer acht gelassen werden könnte. Dennoch hat Fuchs in seiner Erwiderung (Anat. Anz., Bd. 37, 1910) derartige Überlegungen nicht angestellt. In allen Punkten, welche er gegen mich anführt, um zu zeigen, daß die Beziehungen der Nerven auch zum Primordialskelett variabel seien, fehlt dieser Grundgedanke. Nur so erklärt sich auch, daß F. dort Dinge zusammenwirft, die ganz verschieden zu beurteilen sind: Nerv und Visceralskelett in frühen und späten Stadien, Nerv und Basis cranii ohne jede vorherige Feststellung und Berücksichtigung der an der Basis stattgehabten Veränderungen, und endlich Nerv und Deckknochen. Als Antwort genügt hier der Hinweis auf die Methode, durch welche F. dort angeblich stichhaltige Gegenargumente herbeizuschaffen geglaubt hat.

Zusammenfassung der Ergebnisse unter den Gesichtspunkten, welche für diese Untersuchung maßgebend sind. Daran wird sich eine Vergleichung mit analogen Vorgängen aus der Ontogenese anderer Reptilienarten anschließen, soweit sie aus der Literatur bekannt sind; endlich ein Versuch, vorliegende Resultate im Rahmen der Stammesgeschichte zu betrachten.

1. Der Kieferbogen.

Der erste Visceralbogen wird als ein einheitliches Blastem angelegt. Die Gliederung in Meckelschen Knorpel und Quadrat erfolgt erst im Vorknorpelstadium, die Gelenkbildung erst nach Auftreten reifen Knorpels. Diese Beobachtung deckt sich mit den Angaben anderer Forscher, z. B. Noacks[1]) bei Emys und Möllers[2]) bei Schlangen. Anfangs hat das Kieferbogenblastem eine sehr unreglmäßige, mit Worten kaum wiederzugebende Gestalt; man könnte sie mit Möller zutreffend als Blutegelform bezeichnen. Der Blastemabschnitt, welcher die Unterkieferanlage darstellt, hat die bekannte Spangenform und steht in der Medianlinie noch nicht mit dem der anderen Seite in Verbindung. Die Quadratanlage läßt die spätere Form noch nicht ahnen, sie ist rundlich, bzw. oval. Allein die Anlage des Processus pterygoideus (Chontropterygoid) ist bereits nach Lage und Verlauf als solche zu erkennen. Dieser Befund hat weitergehendes Interesse, da das frühe Auftreten des Fortsatzes in der Ontogenese mit seiner höheren Ausbildung bei Urodelen und bei primitiveren Reptilien (Sphenoden) im Einklang steht; auch Kunkel[3]) hat in seiner vorläufigen Mitteilung den Fortsatz allerdings in einem späteren Stadium bei Emys erwähnt. Einen Processus ascendens (Epipterygoid) (Gaupp,[4]) Filatoff,[5]) Kunkel) habe ich dagegen in allen mir vorliegenden Stadien der Entwicklung vermißt, und finde ihn auch in keinem der von mir angefertigten Modelle angedeutet. Diese Frage muß deshalb vorerst noch unbeantwortet bleiben.

Der Übergang in Vorknorpel bringt die Gliederung des Kieferbogens und die wesentliche Gestaltveränderung des Quadratums mit sich.

Der Unterkiefer ist dem Quadratum histologisch und morphologisch immer etwas voraus; er geht zuerst in Vorknorpel über. Schon auf dieser Entwicklungsstufe vereinigen sich die beiden Unterkieferanlagen in Form einer medianen, dorso-ventral abgeflachten Gewebsplatte. Die beiden Unterkieferhälften verlieren bei T. graeca also frühzeitig ihre Beweglichkeit gegeneinander; der Unterkiefer wird beißkräftig. Diese Beobachtung steht mit der ebenfalls frühzeitigen Umwandlung des streptostylen Quadrats in den monimostylen Zustand in vollstem Einklang. Die Anlage eines zunächst selbständigen medianen Verbindungsstückes, wie es Gaupp[6]) bei Schildkröten erwähnt, habe ich nicht beobachten können. Auch Knorpelgewebe erscheint zuerst im Unterkiefer und zwar in diffuser Weise innerhalb der ganzen Anlage. Besondere Verknorpelungszentren treten nicht auf. Das Gelenkende

---

[1]) Noack, l. c.

[2]) W. Möller, Zur Kenntnis der Entwicklung des Gehörknöchelchens bei der Kreuzotter und der Ringelnatter, nebst Bemerkungen zur Neurologie dieser Schlangen. Schultzes Archiv, Bd. 65, 1905.

[3]) Kunkel, l. c.

[4]) E. Gaupp, Die Entwicklung des Kopfskeletts. Handbuch der vergleichenden und experimentellen Entwicklungslehre der Wirbeltiere, herausgegeben von O. Hertwig, III. Bd., Teil 2, 1905.

[5]) Filatoff, Zur Frage über die Anlage des Knorpelschädels bei einigen Wirbeltieren. Anat. Anz., Bd. 29, 1906.

[6]) E. Gaupp, l. c. 1905.

des primordialen Unterkiefers im Zustande des reifen Knorpels trägt eine einfache Pfanne zur Artikulation mit einem Condylus des Quadrats. Ein Processus retro-articularis fehlt. Zu dieser Zeit erscheinen die Deckknochen, an erster Stelle das Dentale und das Goniale. Von sonstigen Deckknochen werden ein Angulare, Supraangulare und ein Complementare angelegt. Die Gelenkfläche des Articulare, welches im Bereich des Hinterendes des Meckelschen Knorpels als Ersatzknochen entsteht, bleibt dauernd knorpelig; dieser Pfannenknorpel ist als ein Rest des primordialen Unterkieferknorpels anzusehen. Später bilden sich zwei nebeneinander liegende, durch einen niedrigen First getrennte Gelenkpfannen aus. Das Quadratum formiert dementsprechend zwei Condylen, welche nebeneinander stehen und durch eine sagittal stehende Einkerbung voneinander getrennt sind. Das Kiefergelenk erhält also während der letzten Etappen der Ontogenese einen lateralen Zuwachs und erfährt dabei eine Umbildung.

Das Quadratum nimmt mit dem Übergang in Vorknorpelgewebe die charakteristische Ohrmuschel- oder Nierenbeckenform an, welche jedoch bei verschiedenen Embryonen in den Verhältnissen etwas variieren kann, wie mir drei Modelle von verschiedenen Embryonen zeigen. Der Grund für das Zurückbleiben des Quadrats ist in der komplizierten und erst spät definitiv werdenden Formation dieses Skeletteils zu suchen. Seine Zellverbände müssen viel länger verschiebbar bleiben, daher beharren sie länger im indifferenten Blastemzustand. Der Quadratkörper tritt zwar bald als Ganzes in die Erscheinung, läßt jedoch noch bis zum Ende der Entwicklung eine bestimmte Wachstumstendenz erkennen, die darauf hinausläuft, die ganze in der Entstehung begriffene Mittelohranlage bogenförmig zu umwachsen und sich dabei immer stärker zu krümmen. Die oralen und medialen Teile des Quadratums erscheinen als die älteren, sie sind es auch, welche den Quadratbildungen anderer Reptilien entsprechen. Der kaudale Abschnitt, welcher sich hinter der Columella nach unten ausdehnt, gewinnt erst relativ spät seine endgültige Form. Auch der laterale Rand des Beckens wächst erst sekundär weiter nach außen vor und rollt sich dabei etwas ein. So entsteht aus einem mehr gestreckten und flachen Nierenbecken allmählich ein stärker gekrümmtes und tieferes. Dabei nimmt die Dicke der Beckenwandung ferner ständig zu Gunsten der Höhlung ab. Schon jetzt beginnt das Quadrat mit der Ohrkapsel zu verschmelzen; der bis dahin streptostyle Zustand wandelt sich also frühzeitig in den monimostylen um.

Die Verknorpelung geht ziemlich gleichzeitig innerhalb des ganzen Quadratums vor sich, nur im Processus pterygoideus, dann in den oralen und medialen Partien scheint sie etwas früher aufzutreten. Man vermißt auch hier deutliche Knorpelkerne. Der nach ventral und kaudal offene Ausschnitt des Quadratbeckens, in welchem die Columella auris liegt, wird durch die zunehmende Krümmung des Quadratkörpers und durch die Entwicklung des Processus tympanicus immer enger. Erst bei Ausbildung von Ersatzknochen in der Umgebung des ganzen Quadrats wird der Ausschnitt zum Kanal abgeschlossen. Der Processus pterygoideus bleibt, wie bei Sphenoden, lange knorpelig erhalten und findet sich noch beim ausgeschlüpften Tiere als dicker knorpeliger Fortsatz in Verbindung mit dem Quadratkörper. Der Fortsatz erstreckt sich hier, in einen Mantel von Ersatzknochen gehüllt, längs der Lateral- resp. Dorsalseite des Pterygoides bis zum Palatinum. Auch dieser Befund erinnert an primitivere Zustände (manche Urodelen, Sphenoden, Lacerta). Der Gelenkfortsatz des Quadrats verknöchert bis auf die Gelenkfläche der beiden Condylen, von denen der äußere, wie nachgewiesen, später hinzugekommen ist.

Von Deckknochen sind das Pterygoid und das Squamosum zu nennen. Ersteres tritt sehr früh auf und stellt eine dreieckige Platte dar, welche so gebogen ist, daß sie das Chondropterygoid von ventral und medial umfaßt. An ihrer Medialkante verläuft der R. palatinus VII, welcher bei weiterer Entwicklung des Deckknochens in einen Kanal eingeschlossen wird. Das hintere Ende des Pterygoids läuft spitz zu und verschließt den vorderen Ausgang des Spaltes zwischen Ohrkapsel uud Quadratum. — Das Squamosum erscheint erst später an der Außenseite des hinteren Quadratabschnittes zunächst als kleine rhombische Knochenplatte, wie es auch Noack und Kunkel beschrieben haben.

2. Der Zungenbeinbogen.

Die Entwicklungsgeschichte dieses Visceralbogens bei Testudo graeca hat viel Ähnlichkeit mit den entsprechenden Vorgängen wie sie Schauinsland[1] (1900) bei Hatteria, Gaupp[2] bei Lacerta (1900), Kingsley[3] bei Sauriern, Versluys[4] bei Gecko, Lacerta, Hemi- und Platydactylus (1903), Cords[5] bei Lacerta agilis (1909) beschrieben haben. Andererseits bestehen gegenüber den Entwicklungsvorgängen am Hyoidbogen von Lacerta ganz bestimmte Unterschiede.

Die Anlagen der Columella auris, des Interhyale und des Ventralstückes des Hyoidbogens bilden im Blastemstadium sozusagen eine Einheit, wie ich das bereits in der früheren Mitteilung dargelegt habe. Das Ventralstück ist bisher in der Ontogenese der Schildkröten in dieser Ausdehnung noch nicht beobachtet worden; der Nachweis dieses anfänglich großen Ventralstückes ist für die phyletische Beurteilung der ontogenetischen Vorgänge am Hyoidbogen von entscheidender Bedeutung. Die Orientierung aller dieser Blasteme zueinander, ferner ihre Lage zwischen der ersten und zweiten Visceralspalte und endlich die durchweg deutliche Abgrenzung der Columellaanlage von derjenigen der Ohrkapsel lassen jede andere Deutung ausschließen. Die schon beim ersten Auftreten eingeleitete Gliederung des Bogens dokumentiert sich als eine alte Einrichtung, welche in der sehr vollkommenen Verwendung des oberen Bogenendes als Gehörknöchelchen begründet ist. Diese Funktion wäre bei einem Zusammenhang des Dorsalstückes mit dem übrigen Zungenbeinbogen nicht oder nur unvollkommen möglich. Die Ontogenese des schalleitenden Apparates der Schildkröten bildet so eine weitere Bestätigung der Auffassung, welche Versluys über die Physiologie der Abgliederung der Columella vom Hyoidbogen geäußert und, besonders an den Verhältnissen bei Sphenodon einleuchtend dargelegt hat, die er auf Rückbildung und Hemmungserscheinungen zurückführt. Das Ventralstück schwindet, noch ehe es in Vorknorpel übergegangen, bis auf den kleinen Processus anterior lateralis am Hyoidkörper. Weder ein Processus dorsalis, noch

---

[1] Schauinsland, Weitere Beiträge zur Entwicklungsgeschichte der Hatteria (Skelettsystem, schallleitender Apparat, Hirnnerven). Archiv mikr. Anat., Bd. 57, 1900.

[2] E. Gaupp, Das Chondrocranium von Lacerta agilis. Ein Beitrag zum Verständnis des Amniotenschädels. Anat. Hefte, Bd. 14, 1900.

[3] Kingsley, l. c., 1894/1904.

[4] Versluys, Entwicklung der Columella auris bei den Lacertiliern. Zool. Jahrb., Abt. f. Anat., Bd. 19, 1903.

[5] E. Cords, l. c., 1909.

ein Processus internus wird angelegt; Beziehungen des schalleitenden Apparates zur Muskulatur und zum Bandapparat fehlen von Anfang an. Um weniges später wird auch das Interhyale zurückgebildet. Dementsprechend fehlt auch der Extracolumella von T. graeca jede Fortsatzbildung. Die Ohrkapsel entsteht später, wie der schalleitende Apparat. Unter 25 Embryonen aus allen Stadien der Skelettentwicklung war die Abgrenzung beider Anlagen bis auf verschwindend wenig Fälle, bei welchen die Schnittrichtung ungünstig lag, überall klar. Gleiches berichten Versluys von Geckoniden und Lacerta, Schauinsland bei den meisten Fällen von Hatteria, E. Cords bei Lacerta agilis. Auch Gaupp hält bekanntlich die ganze Columella auris für hyalen Ursprunges und hebt gleich Versluys hervor, daß etwaige Verschmelzungen bei der Anlage in späteren Entwicklungsstadien noch kein Beweis des genetischen Zusammenhangs beider Skeletteile seien. Kunkel hat sich ihm angeschlossen. Bei Testudo graeca fehlen, wie gesagt, auch diese späteren Verschmelzungen; der Befund ist ganz eindeutig. Unter den neueren Untersuchungen auf diesem Gebiet, auf welche ich mich hier beschränken kann, leiten dagegen Möller, Noack, Fuchs, ersterer auf Grund seiner Resultate bei Schlangen, letztere für Emys, den proximalen Abschnitt des schalleitenden Apparates von der Ohrkapsel ab. Gehen wir die genannten Arbeiten etwas genauer durch.

Kingsley hat bei Reptilien keinen direkten Zusammenhang zwischen Ohrkapsel und schalleitendem Apparat gefunden, dagegen einen solchen zwischen letzterem und dem Zungenbeinbogen. Er leitet also den Stapes vom Zungenbeinbogen ab.

Schauinsland hebt p. 831 hervor, daß er Zungenbeinbogen, Extracolumella und Columella bei Hatteria in allen Stadien als eine einheitliche Lage antraf. Ebenso schildert er p. 833 den ganzen schalleitenden Apparat als „zusammenhängendes hyalines Knorpelstück“. Bei älteren Stadien beschreibt er dann eine Grenze zwischen Stapes und Extracolumella, wie ich sie bei T. graeca finde. p. 836 trägt er dann nach, daß „die Grenze zwischen Stapes und Extracolumella auch in den jüngsten Stadien vorhanden sei;“ aus seinen weiteren Worten geht hervor, daß es sich auch hier schon um Knorpelstadien handelt. Daraus würde sich also ergeben, daß der ganze schalleitende Apparat auch bei Hatteria als Kontinuum angelegt wird, und daß eine Grenze zwischen Stapes und Extracolumella erst spät auftritt. Das würde also mit den Befunden bei T. graeca übereinstimmen.

Möller hat die Entwicklung des Gehörknöchelchens bei der Kreuzotter und der Ringelnatter untersucht und ist zu der oben genannten Ansicht gekommen. Prüft man seine Befunde genau, so findet sich mancherlei, was mit seiner Schlußfolgerung nicht ganz im Einklang steht. Schon bei seiner ersten Serie hat man den Eindruck, daß das Columellablastem von dem der Ohrkapsel doch abzugrenzen war. Auch seine Fig. 2 spricht für diese Auffassung. Leider fehlen Angaben über etwaige histologische Unterschiede, aus welchen man Schlüsse über Alterdifferenzen zwischen den beiden Anlagen ziehen könnte. Auch in den späteren Stadien Möllers sind Columella und Labyrinth auseinander zu halten und bleiben es bis zum Abschluß der Ontogenese. Nur Möllers Serie II, p. 460 und seine Fig. 4 scheinen einen Zusammenhang zwischen der Ohrkapsel und der Columella auris zu demonstrieren, doch würde natürlich auch dieser eine Fall eines vorübergehenden Zusammenhanges beider Anlagen während eines Blastemstadiums noch keine einheitliche Genese beweisen, wie das schon von Verluys u. a. betont worden ist. Ferner hat Möller berichtet,

daß die Columella auris auch bei Schlangen auf allen Entwicklungsstufen ein einheitliches Gebilde darstellt.

Noack und Fuchs haben die Entwicklung der Columella auris speziell bei Schildkröten untersucht. Die Ergebnisse von Noack können nicht völlig überzeugen, daß sich die Columella auris bei Emys von der Ohrkapsel aus entwickelt. Noacks Tafelfig. 1 zeigt, im Gegenteil ein von seiner Umgebung scharf abgegrenztes Columellablastem, auch ist aus der Beschreibung p. 463 und 467 zu ersehen, daß die Columellaanlage auch bei Emys derjenigen der Ohrkapsel histologisch voraus ist. Ebenso kann man die Columellaanlage auf Tafelfig. 9 deutlich von der Ohrkapsel unterscheiden. N. betont jetzt auch selbst, daß „die Anlage des Gehörknöchelchens durch seine dichtere Zellschichtung sowohl gegen das Blastem der Labyrinthkapsel, als auch gegen das umgebende Mesenchymgewebe ganz gut abzugrenzen sei." Ähnlich drückt er sich p. 469 aus, doch scheint hier nicht ausgeschlossen, daß Noack die Crista parotica für den proximalen Teil der Columella auris gehalten hat. Weiterhin spricht Noack dann mehrfach von der endgültigen Ablösung der Columella vom Labyrinth. In diesen Ausführungen Noacks sind also Widersprüche enthalten. Nach seinen Beschreibungen und den beigegebenen Abbildungen kann die Gehörknöchelanlage auch bei Emys während der ganzen Ontogenese von der Ohrkapsel getrennt werden. Trotzdem leitet Noack den Stapes von der Ohrkapsel ab. Das Noack zur Verfügung stehende Material, 9 Serien, zum Teil aus denselben Stadien, dürfte kaum zur Entscheidung dieser Frage genügen; das macht sich noch mehr bei seinen Mitteilungen über die Herkunft der Paukenhöhle geltend, worauf ich weiter unten noch zurückkommen werde.

Noch weit weniger überzeugend sind die kurzen Notizen, welche Fuchs[1]) über die Entwicklung der Columella auris bei Emys europea veröffentlicht hat, in welchen er betreffs der Ableitung des schalleitenden Apparates zu demselben Schluß kommt, wie Noack. Fuchs macht über das ihm zur Verfügung stehende Material keine näheren Angaben.[2]) Auf p. 19 gibt er an: „der Otostapes geht medialwärts kontinuierlich in die Anlage der Gehörkapsel über. In welchen Stadien und in wieviel Fällen das beobachtet wurde, wird nicht gesagt. F. fügt dann ohne weitere Begründung hinzu: „daß am Aufbau des Otostapes die Gehörkapsel sich beteiligt, läßt sich mit aller Bestimmtheit sagen. Noch im

[1]) H. Fuchs, l. c. Verhandlungen der anatom. Gesellschaft zu Würzburg, 1907.

[2]) F. hat jetzt in seinem Vortrag auf dem Anatom. Kongreß in München 1912 angegeben, daß er damals (1907) nur eine Serie von Chelone gehabt habe! Diese Mitteilung verdient gebührend hervorgehoben zu werden, denn sie wirft wieder ein Licht auf die Methode, nach der F. in dieser Frage gearbeitet hat, und auf den Wert so von ihm gewonnener Resultate. Ich stelle hiermit fest, daß F. es unternommen hat, aus einer einzigen Serie die ganze, bis dahin noch nicht untersuchte Entwicklung der Columella auris der Schildkröten herauszulesen und diese Ergebnisse einem Kongreß vorzutragen. Fs. Mitteilungen über diese Frage blieben seinerzeit in Würzburg natürlich nur deshalb unangefochten, weil er damals jede nähere Angabe über sein Untersuchungsmaterial unterließ.

Abgesehen von dem sachlichen Einwand, daß es überhaupt unmöglich ist, aus einer Serie eine Entwicklung herzuleiten, beweist es einen auffallenden Mangel an wissenschaftlicher Gründlichkeit und Gewissenhaftigkeit, einen an einem so handgreiflich ungenügenden Material untersuchten Entwicklungsvorgang, dessen Mannigfaltigkeit und Kompliziertheit aus vorliegender Untersuchung wohl hervorgeht, als völlig aufgeklärt zu veröffentlichen. Ich begnüge mich mit dieser Feststellung und kann das weitere Urteil über die von Fuchs auf diesem Wege gewonnenen Resultate den Fachgenossen überlassen.

Knorpelstadium hängen beide zusammen."[1]) Fuchs verweist dann noch auf die Schnittbilder 22—25 auf Taf. II. Aus den Figg. 23—25 wird gewiß niemand eine Entstehung der Columella auris von der Ohrkapsel ersehen können, denn die Gegend der Berührung zwischen den beiden Anlagen ist auf keinem dieser Bilder getroffen. Fig. 22 aber zeigt uns ein proximales Columellaende, das sich schon durch seine viel weiter fortgeschrittene Entwicklung aufs deutlichste von der Labyrinthanlage abgrenzen läßt. Diese Abbildung spricht geradezu gegen die Fuchssche Auslegung. Es wird nötig sein, die Entwicklung der Columella auris von Emys einer eingehenderen Untersuchung an einem ausreichenden Material zu unterziehen. Diese Aufgabe hat Kunkel übernommen und man wird seine ausführliche Arbeit abwarten müssen, ehe man Endgültiges über diese Vorgänge bei Emys aussagen kann.

Columella resp. Stapes und Extracolumella von Testuda graeca entstehen als eine Einheit. Eine Grenze zwischen beiden Teilen kommt erst dadurch zustande, daß das Stapes verknöchert, Stiel und Insertionsplatte der Extracolumella aber knorpelig bleiben. Das ganze Gehörknöchelchen ist also genetisch als ein Hyostapes zu bezeichnen.

Dieses Ergebnis steht mit den Angaben von Versluys in Übereinstimmung, welcher bei Geckoniden und Lacerta die einheitliche Anlage des ganzen Gehörknöchelchens nachwies und im Gegensatz zu C. K. Hoffmann[2]) zeigte, daß eine Grenze erst im Knorpelstadium entsteht, und kein Beweis für den Ursprung der Columella auris aus zwei genetisch verschiedenen Abschnitten ist. Andere Autoren haben bei Lacerta eine Grenze innerhalb der Columellaanlage beschrieben; dieselbe wird bald in Blastemstadium, bald zu Beginn der Verknorpelung angegeben.

Zieht man das Fazit aus diesen Untersuchungen, so spricht sich die weitaus größere Mehrheit der Autoren für eine einheitliche Anlage der Reptiliencolumella aus. Trotzdem soll die Möglichkeit einer gelegentlichen anfänglichen Zweiteilung nicht bestritten werden. Diese würde dann jedoch als eine Zufälligkeit, als ein spezieller Entwicklungsmodus zu gelten haben und könnte mit anderen ebenso unregelmäßigen caenogenetischen Erscheinungen, so der ganzen Quadratentwicklung bei Schildkröten, der Verschmelzung des Quadrates und der Extracolumella im Blastem- und Vorknorpelstadium, in eine Linie gestellt werden. Für eine doppelte Herkunft der Columella auris wäre damit nichts bewiesen, nicht nur im Hinblick auf die überwiegende Mehrzahl anders redender ontogenetischer Befunde, sondern auch auf die Resultate der vergleichenden Anatomie, die immer wieder auf den Zungenbeinbogen als Ausgangspunkt für den schalleitenden Apparat verweisen. Für ein Ohrkapselgebilde, wie einen „Otostapes", den die Ontogenese der meisten Amphibien[3]) und vielleicht einzelner Reptilien vorübergehend vortäuscht, findet sich bei ausgebildeten niederen Formen kein Homologon. Auch würde dieser Befund kaum als ein auch nur einigermaßen konstantes morphologisches Merkmal gelten können. Die in einzelnen Fällen beobachtete, anfänglich zweiteilige Anlage der Columella auris wäre also, ebenso,

---

[1]) Diese Zitate enthalten wörtlich fast alles, was Fuchs zur Rechtfertigung seiner Ansicht vorbringt.

[2]) C. K. Hoffmann, Über die morphologische Bedeutung des Gehörknöchelchens bei den Reptilien. Zool. Anz., XII, 1889.

[3]) Daß die Amphibien, speziell die Urodelen gerade in dieser Frage nicht ausschlaggebend sein können, ist schon mehrfach betont worden. Vgl. hierüber auch p. 55 ff. dieser Abhandlung.

wie ein gelegentliches frühes Verschmelzen von Columella- und Ohrkapselanlage, als eine caenogenetische Erscheinung aufzufassen. Es wäre demnach ein Abirren vom Hauptwege, wenn man auf diese individuellen Variabilitäten der Ontogenese besonderen Nachdruck legen wollte. Auch über die Herkunft des schalleitenden Apparates vermag die Entwicklungsgeschichte allein nicht zu entscheiden, sie führt im Gegenteil bei einseitiger Berücksichtigung auch in diesem Punkte dazu, auf nebensächliche Besonderheiten Wert zu legen, die die Einsicht in die Morphologie des schalleitenden Apparates erschweren, und deren Überschätzung für die Erreichung des Hauptzieles, das Verständnis der Phylogenese, keinen Fortschritt, sondern einen Umweg bedeutet.

Was hier von caenogenetischen Vorgängen innerhalb der Columellaentwicklung gesagt werden kann, gilt auch von den Besonderheiten in der Genese der Extracolumella. Diese entsteht zwar im Bereich des Hyoidbogens, aber als ein sekundärer Zuwachs, wie ihr stetes Zurückbleiben hinter der Columella zeigt. Versluys kam in seinen Untersuchungen zu derselben Ansicht; Kingsley hielt die Extracolumella sogar für eine unabhängige Bildung und deutete an, daß man in ihr vielleicht den Rest eines besonderen Visceralbogens vor sich habe. Die Extracolumella von T. graeca bleibt dauernd knorpelig und besteht aus Stiel und Insertionsplatte. Auf keiner Entwicklungsstufe zeigt sich ein Fortsatz, Muskel- oder Bandansatz. Die individuelle Ausbildung der Extracolumella, besonders auch ihr verspätetes Auftreten und ihr Verbleiben im Knorpelzustande sind bei T. graeca leicht als physiologische Anpassung zu erklären. Die Umschließung der Columella durch das Quadrat gewährt ersterer eine feste Stütze, sie hindert das Gehörknöchelchen aber andererseits an jeder seitlichen und an jeder nach oben und unten gerichteten Bewegung. Das Gehörknöchelchen vermag, im Kanal fest eingeschlossen, nur kleinste latero-medial gerichtete Bewegungen auszuführen; es wird sich dabei ähnlich wie ein Kolben im Zylinder bewegen. So erklärt sich, daß Muskelansätze und Ausbildung von Fortsätzen mangels vorhandener Funktionsmöglichkeit fehlen. Nur im biegsamen Stiel der Extracolumella vermag das Gehörknöchelchen einem von außen kommenden Stoß auf das Trommelfell seitwärts auszuweichen, z. B. eine Schallwellenwirkung teilweise zu neutralisieren und andererseits auf das Quadrat überzutragen. Auf diese Weise wird die Wirkung auf eine größere Fläche verteilt und der Stoß auf die Fenestra abgeschwächt. Da Fortsätze, d. h. andere Stützpunkte und Muskelbeziehungen auch in der Ontogenese nicht einmal mehr angedeutet werden (das Interhyale verschwindet schon im Blastemstadium), so kann man daraus schließen, daß es sich bei der jetzigen Form der Schildkrötencolumella um eine schon alte Einrichtung handelt, welche zusammen mit der Konfiguration des Quadrats von vornherein andere Wege gegangen ist, wie bei anderen Reptilien.

3. Die Entwicklung der Paukenhöhle.

Das Studium der Entwicklung der Paukenhöhle von T. graeca hat zur Auffindung einiger bis dahin unbekannter Etappen der Ontogenese geführt, welche bei Mitberücksichtigung niederer Zustände eine ausschlaggebende Bedeutung gewinnen. Der Verlauf der Ontogenese ist ferner hier deshalb besonders lehrreich, weil er zeigt, zu welchen Trugschlüssen die alleinige Berücksichtigung eines embryonalen, noch dazu vielleicht nicht ausreichenden Materials führen kann. Wie man die Herkunft der Columella auris vom

Hyoidbogen ableugnen könnte, wenn man die Ergebnisse der vergleichenden Anatomie außer acht ließe und auch aus der Entwicklungsgeschichte zufälligerweise nicht die entscheidenden Phasen zu Gesicht bekommen hätte, so würde man aus den gleichen Gründen die Herkunft der Paukenhöhle von den beiden ersten Visceraltaschen möglicherweise bestreiten und die Pauke für eine sekundäre Ausstülpung der Mundhöhle erklären, wenn man sich nur an die Befunde aus einem einseitigen und unzureichenden embryonalen Material halten wollte.

Wenn man die immer wiederkehrenden Hauptmomente aus der Genese des Wirbeltierkopfes im Auge behält, so wird man es von vornherein für unwahrscheinlich halten, daß eine so durch die ganze Wirbeltierreihe verbreitete Einrichtung, wie es die Anlage des Systems der Visceralspalten ist, nur zu dem Zweck stets von neuem in der Ontogenese erscheint, um später ohne jede Verwendung beim Aufbau des Kopfes spurlos zu verschwinden. Ist auch die direkte Verwendung des Visceralspaltensystemes nicht immer aus der Ontogenese in allen Teilen klar zu ersehen, so bedeutet das bei den vielen individuellen Schwankungen, denen die Skelettentwicklung besonders in ihrem Beginn meistens unterworfen ist, noch kein Verlassen der althergebrachten Bahnen, in welchen sich die Genese immer wieder bewegt. So hat sich die Herkunft der Reptiliencolumella mit immer größerer Sicherheit auf den Dorsalabschnitt des Zungenbeinbogens zurückführen lassen, und so wird man auch das dieses Bogenderivat umschließende Lumen, die Paukenhöhle der Reptilien, bei genügend ausgedehnten Untersuchungen wohl immer zu den den primitiven Zungenbeinbogen umschließenden Visceralspalten in Beziehung bringen können.

Zu dem Zeitpunkt des ersten Auftretens von Skelettblastemen, mit welchen diese Untersuchung einsetzt, existiert die erste Branchialspalte vollständig, die Hyomandibularspalte nur in ihrem Dorsalbereich. Beide Spalten münden noch nach außen, beider Dorsalausstülpungen stehen annähernd gleich hoch. An der Basis beider Ausstülpungen liegt, zwischen diesen eingebettet, die Columella auris. Dann zieht sich die Hyomandibularspalte vom Ektoderm zurück; sie endigt also jetzt blind zwischen Quadrat- und Columellaanlage. Die Mündung der ersten Branchialspalte wird kaudalwärts verschoben; doch ist es nicht dieser Abschnitt der Spalte, welcher dem späteren Paukenschlauch zu Grunde liegt, sondern ein mehr oral gelegener Zipfel, welcher der Hinterfläche der Columella dicht anliegt und etwa bis in die Sagittalebene des Interhyale reicht. Beider Dorsalausstülpungen verflachen; noch aber liegt die eine Tasche, wenn auch sehr reduziert, oral, die andere kaudal von dem schalleitenden Apparat. Von jetzt ab bedingt die mächtige Quadratentwicklung alle weiteren Veränderungen. Sie preßt beide Spalten besonders im Bereich des späteren Columellakanals so zusammen, daß sie nur noch als enge Schläuche in die nunmehrige Quadrathöhlung hineingelangen können; gleichzeitig bewirkt sie im Verein mit der vermehrten Halskrümmung eine Dorsalverschiebung des ersten, eine Ventralverschiebung des zweiten Spaltenderivates. Hierdurch wird die etwas veränderte Orientierung der Spaltenreste zur Columella hervorgerufen, welche, weil widerstandsfähiger, an ihrem Platz bleibt. Aber diese Verschiebung ist unbedeutend im Vergleich zu der vor allem durch das Quadrat bedingten Formveränderung und der Reduktion der beiden Taschen. Diese sind allmählich in Schläuche umgewandelt, deren periphere Enden sich in der Quadrathöhlung nunmehr sekundär vereinigen. Aus der sekundären Kommuni-

kation beider geht ein Sack hervor, welcher sich in der Quadrathöhlung mehr und mehr ausdehnt, bis er sie ganz einnimmt: die Paukenhöhle. Der dorsale (orale) Schlauch wird alsbald von dem Sack ganz abgeschnürt und verschwindet; der ventrale (kaudale) persistiert als Tube. Das Paukenlumen umwächst die in ihrer Lage ziemlich stabile, in ihrer Form sehr viel schlanker gewordene Columella auris ringförmig. Am kaudalen und ventralen Rand der Columella stößt das Ende des Paukenlumens im weiteren Vordringen wieder auf den Anfang, d. h. auf das Tubenende. Mit diesem tritt es aber nicht in Kommunikation, sondern seine Wandung bildet hier jene Schleimhautduplikatur, in welcher auch die Columella eingeschlossen ist, und welche von dieser in der genannten Richtung zur Quadratwand hinzieht. Damit ist zugleich die Herkunft der Tube erklärt. Zur genannten Zeit ist eine Grenze zwischen Pauke und Tube sehr deutlich. Mit zunehmender Aufblähung der Pauke wird die vorher sehr ausgesprochene, lange Tube kürzer und enger, bleibt aber als kurzer Kanal bestehen.

Das Trommelfell hat mit dem äußeren Verschluß der Schlundspalten nichts zu tun. Es entsteht erst, wenn dieser Verschluß längst stattgefunden, und die ganze Gegend hochgradige Veränderungen durchgemacht hat. Soweit sich dies aus dieser gerade sehr lange indifferent bleibenden Stelle ersehen läßt, entsteht das Trommelfell teils aus den Randpartien der sich anfangs berührenden Blasteme der Extracolumella und des Quadrats, teils aus dem zwischen beiden später auftretenden Bindegewebe, welchem sich von innen die Paukenschleimhaut anlegt. Eine sichere Entscheidung über den ersteren Punkt ist deshalb nicht möglich, weil die beiden ersten Visceraltaschen zu der Zeit, in welcher ein Trommelfell auftritt, längst als solche verschwunden sind, und die Skelettblasteme sich schon beträchtlich verändert haben. Aus diesem Grunde ist es auch schwer zu bestimmen, wo sich das Trommelfell entwickelt. Es dehnt sich im fertigen Zustande zweifellos viel weiter kaudalwärts aus, als der Lage der Hyomandibulartasche, und viel weiter oralwärts, als derjenigen der ersten Branchialspalte in früheren Stadien entsprechen würde. Alle diese Momente kennzeichnen das Trommelfell als eine späte Bildung, die im großen und ganzen an die individuelle, selbst wieder sekundäre Entwicklung der Extracolumella geknüpft ist.

Das sind die Grundzüge, nach welchen die Entwicklung der Paukenhöhle bei der griechischen Landschildkröte vor sich geht. Daß sie unter Beteiligung der beiden ersten Visceraltaschen und zwar ihrer Dorsalabschnitte erfolgt, dürfte aus der Beschreibung und den Modellen klar hervorgehen. Gegenüber diesem wesentlichen Befund erscheint es von untergeordneter Bedeutung, sich nun die Frage vorzulegen, von welchen Teilen der Dorsalhälften die Pauke nun im einzelnen ihre weitere Entwicklung nimmt. Man kann mit Sicherheit nur das feststellen, daß jedenfalls die lateralen Partien der beiden Taschenhälften zu Grunde gehen und daß die ursprünglich medialer gelegenen beim Aufbau der Paukenhöhle verwendet werden. Es ist ohne weiteres zuzugeben, daß dies nur unter bedeutenden Umformungen und Verschiebungen geschieht. An einen noch mehr ins einzelne gehenden Vergleich soll hier ebensowenig gedacht werden, wie in meiner früheren Abhandlung; er dürfte undurchführbar sein.

Betreffs älterer Angaben über die Ableitung der Paukenhöhle sei auf die Literaturübersicht bei E. Cords verwiesen. Eingehende neue Untersuchungen über die Entstehung der Reptilienpauke besitzen wir von Versluys und E. Cords. Schauinsland und Noack haben diese Frage nur gestreift; ebenso ist Möller bei Schlangen nicht näher darauf eingegangen.

Kingsleys Anschauung kommt der hier gewonnenen in einer Beziehung am nächsten. Er leitet die Paukenhöhle der Reptilien von einem zweizipfeligen Auswachsen der Tuba Eustachii ab, deren einer Zipfel der Hyomandibularspalte, deren anderer der ersten Branchialspalte entsprechen soll. Kingsley hat also auch jene zwei Zipfel oder Schläuche gesehen und leitet sie auch von denselben Visceralspalten ab wie ich; doch führt er merkwürdigerweise beide auf ein sekundäres Auswachsen von der Mundhöhle aus zurück.

Versluys hat auch dieser Frage Beachtung geschenkt; er leitet den lateralen Teil der Paukenhöhle von Lacerta von einer Erweiterung des medialen Teiles der ersten Kiemen spalte ab. Der laterale Abschnitt der Spalte, welcher ehemals nach außen durchbrach, werde vollständig zurückgebildet und habe keinen Anteil an der Ausbildung der späteren Paukenhöhle. Auch diese Ansicht enthält keinen wesentlichen Gegensatz zu den von mir bei T. graeca gefundenen Vorgängen. Versluys hat keine genaue Untersuchung über die Entwicklung der Pauke beabsichtigt; seine Ansicht baut sich vorwiegend auf neurologischen Resultaten auf, so dem Verlauf der Chorda tympani, wovon noch die Rede sein wird.

Cords hat wohl als erste gerade die Frage nach der Herkunft des Paukenlumens in den Vordergrund ihrer Abhandlung über Lacerta gestellt und ist zu folgenden Ergebnissen gekommen. C. führt die Paukenhöhle von Lacerta gleichfalls auf den dorsalen Abschnitt der Hyomandibulartasche zurück, die aber eine Drehung aus einer queren, in eine annähernd longitudinale Richtung durchmacht. Die dorsale Kante dieser Tasche wird dann durch die Columella auris in einen Saccus prae- und retrocolumellaris geteilt. Letzterer dehnt sich weiter dorsalwärts in die Aushöhlung des Quadrats hinein aus und wird durch die über sie hinweg ziehende Chorda tympani in einen medialen und einen lateralen Recessus geteilt. Diese beiden Recessus machen jetzt den gleichen Weg wie der Paukensack bei T. graeca, sie wachsen in kaudaler Richtung über die Columella hinweg dem Saccus retrocolumellaris entgegen, mit welchem der laterale Recessus später kommuniziert, der mediale dagegen nicht. Weiterhin sagt Cords: „Eine Scheidung in Tube und eigentliche Paukenhöhle findet nicht statt, vielmehr gehen Mittelohrraum und Rachenhöhle stets mit weiter Kommunikationsöffnung ineinander über. Deshalb ist es auch nicht möglich, mit Bestimmtheit auszuschließen, ob an der Bildung des tubo-tympanalen Raumes nicht auch Teile des Schlundrohres und der ersten Branchialtasche mitbeteiligt sind.“ Auch dieser Befund enthält viele gemeinsame Züge mit den Vorgängen bei Testudo, jedoch scheint hiernach die Entwicklung der Paukenhöhle der Eidechse aus der, resp. den Visceraltaschen in der Ontogenese nicht mehr so klar hervorzutreten, wie es bei T. graeca der Fall ist. Die Entwicklung der Eidechsenpauke scheint in noch höherem Maße sprungweise vor sich zu gehen, wie die des Mittelohres der Schildkröten, und es wäre möglich, daß bei Sauriern stammesgeschichtliche Anklänge aus der oben genannten Etappe der Ontogenese in verstärktem Maße ausgemerzt wären.

Die Entwicklung der Paukenhöhle der Schildkröten hat bisher nur Noack kurz berührt. Abgesehen von kleinen Abweichungen und von dem Umstand, daß Noack infolge seines beschränkten Materials einige Stadien nicht gesehen hat, schildert er die Paukenhöhle mehrfach auf Entwicklungsstufen, welche einzelnen der hier beschriebenen völlig gleichen. Noack leitet die Paukenhöhle von Emys von der Dorsalspitze der ersten Kiementasche ab. So sagt er p. 472, daß . . . „die erste innere Kiemenspalte von medial in ziemlich breiter Aussackung in die Quadrathöhlung hineinragt.“ Dieses Stadium würde

demjenigen bei T. graeca entsprechen, in welchem der dorsale Paukenschlauch schon völlig abgeschnürt ist, und sich nun der durch sekundäre Kommunikation beider Schläuche (Schlundtaschenderivate) entstandene Paukensack in der Quadrathöhlung auszudehnen beginnt. Noack hat diesen Zustand auch modelliert (Fig. 2, p. 471). Da Noack aber einige der vorhergehenden Entwicklungsstufen, und zwar gerade die ausschlaggebenden, offenbar fehlen, — vielleicht kommen sie in der Ontogenese von Emys auch nicht so deutlich zum Ausdruck oder werden übersprungen, — so faßt er (p. 475) die erste Kiemenspalte als eine Ausstülpung der Mundbucht auf, die zusammen mit der Columella zieht, so daß letztere lateral „von beiden Seiten von Elementen der ersten Kiemenspalte umgeben ist, die die sich bildende Paukenhöhle darstellen" (Fig. 5, p. 477). Dieses Stadium würde also ein relativ spätes darstellen, in welchem der Paukensack die Columella ringförmig umwächst; es stimmt gleichfalls mit dem hier von diesem Stadium gegebenen Befund überein. Weiter schildert Noack die zunehmende Umwachsung des schalleitenden Apparates durch das laterale Ende der ersten Kiemenspalte. Man sieht also, daß die Beschreibung, welche Noack von den späteren Stadien der Paukenhöhlenentwicklung bei Emys gibt, mit vorliegenden Resultaten bei T. graeca eine weitgehende Übereinstimmung aufweist. Für die früheren Etapen reichte sein Material nicht aus, deshalb blieb ihm die vielleicht auch bei Emys aus zwei Visceraltaschenhälften herzuleitende Paukenentstehung teilweise unbekannt. Bei seiner Deutung, daß es sich nur um die erste Kiementasche handle, hat er ferner anscheinend übersehen, daß der Verlauf der Chorda tympani zum tubo-tympanalen Raum, welchen er mehrfach genau beschreibt, diese Ableitung nicht zuließ. Nach diesem Nervenverlauf mußte die Tube vielmehr von der ersten Branchialtasche abgeleitet werden, da die Chorda tympani, wie auch Noack beschrieben hat, vor dem tubo-tympanalen Raum verläuft.

Überblickt man die Resultate, welche E. Cords bei Lacerta, Noack und ich bei Schildkröten erzielten, so kann man sagen, daß die Paukenhöhlen dieser Reptilien auch ontogenetisch im wesentlichen doch auf dasselbe dorsale Schlundspaltengebiet zurückzuführen sind, mithin also miteinander homologisiert werden können. Die ganze Ausbildung des Paukensackes wie auch des schalleitenden Apparates scheint aber bei Schildkröten noch einfacher und wohl auch eindeutiger vor sich zu gehen, wie bei Lacerta.

4. Die Gefässe.

Das Verhalten der Vena capitis lateralis und des Mittelohrastes der Carotis interna, der Arteria facialis schließt sich auf allen Entwicklungsstufen den bei anderen Reptilien gemachten Beobachtungen an, so daß sich eine nochmalige Zusammenstellung erübrigt. Für die Vene sei hier nochmals auf die Untersuchungen von Grosser und Brezina,[1]) für die Arteria facialis besonders auf die Mitteilung von Versluys verwiesen. Die letzte mit meinen Ergebnissen bei T. graeca ganz übereinstimmende Schilderung der Mittelohrgefäße gab Cords bei Lacerta agilis.

---

[1]) Grosser und Brezina, Über die Entwicklung der Venen des Kopfes und Halses bei Reptilien. Morphol. Jahrb., Bd. 23, 1895.

5. Die Nerven nebst Bemerkungen über ihre Beziehungen zum Primordialskelett.

Der Nervus facialis dokumentiert sich im Stadium der noch bestehenden Visceralspalten zu Beginn des Auftretens von Skelettblastem wieder als Hyoidbogennerv. Wir sehen hier anfangs ein ganz primitives Verhalten zur Anlage des ihm zugehörigen Visceralbogens vor uns, wie ich es (1906/07) bei Selachiern und weiterhin bei primitiven Urodelen (Perennibranchiaten) geschildert habe. Das Ganglion geniculi liegt in der dorsalen Fortsetzung des Hyoidbogens am latero-oralen Rande der Ohrkapsel, speziell der Crista parotica; aus ihm zieht der Ramus praetrematicus und pharyngeus (R. palatinus) dorsal von der noch offenen Hyomandibularspalte zum Mundhöhlendach, der R. postrematicus (R. hyomandibularis und Chorda tympani[1]) hinter der Spalte in Begleitung des Hyoidbogenblastems ventralwärts. Oral vom Dorsalende des Bogenblastems, also der Columellaanlage teilt sich der Hauptstamm in den R. hyomandibularis, den R. communicans superior IX—VII und die Chorda tympani; von letzterer soll hier nochmals in anderem Zusammenhang die Rede sein.

Die Chorda tympani zieht an der Oralseite des Skelettblastemes lateralwärts. Der Verlauf der Chorda tympani ist in den verschiedenen Stadien der Entwicklung gerade auf dieser Strecke sehr interessant, da aus ihm zu ersehen ist, wie die primitive Zugehörigkeit des Nerven zum Hyoidbogen dessen Derivat der Columella auris gegenüber auch noch während der Ontogeneso so lange wie möglich gewahrt wird. Dieser Befund bestätigt wieder die Auffassung von der ursprünglich metameren Anordnung der Nerven der Trigeminus- und Vagusgruppe, d. h. ihrer Zugehörigkeit zu den primordialen Skeletteilen, den Visceralbögen. In frühen Stadien folgt die Chorda tympani hinter der Hyomandibularspalte, dem Hyoidbogenabkömmling, der Columella auris bis zum lateralen Ende, d. h. bis zur Extracolumella, in deren Zellmassen sie teilweise eingelagert erscheint. Erst dicht unter dem Ektoderm biegt der Nerv um den äußeren Rand der Spalte nach vorn zur Medialseite des primordialen Kiefergelenks und Unterkiefers um. Der Nerv verläßt also den Bogen in dieser frühen Periode der Ontogenese erst an der Stelle, an welcher dessen Kontinuität unterbrochen ist, und die trennende Hyomandibularspalte einer Verschiebung nach vorn nicht mehr im Wege steht; also erst nach Durchbrechung primitiver Zustände. Eine Ergänzung für die Richtigkeit dieser Auffassung erbringt die spätere Entwicklung. Unter dem Einfluß der Quadratentfaltung, die in der Weise, wie sie bei Schildkröten vor sich geht, wohl nicht als primitiv bezeichnet werden kann, wird der Nerv von der Columella allmählich gleichsam zurückgestreift und wendet sich nun, da auch die trennende Spalte bis auf einen dünnen Schlauch reduziert und verschoben worden ist, viel früher, d. h. weiter medial schon ventralwärts. Dieser Wechsel im Verhalten der Chorda tympani zum Hyoidbogenderivat, dem Gehörknöchelchen, ist sehr auffallend und wurde auch schon von Noack (p. 481), der die Nerven bei Emys sehr eingehend untersuchte, besonders vermerkt. Die Tatsache, daß die Lage der Chorda tympani zur Columella auris in frühen Stadien der Ontogenese eine andere ist, wie in späteren, wird also durch drei sekundäre

---

[1]) In dem Lehrbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbeltiere von Schimkewitsch, Stuttgart 1910 wird die Chorda tympani unverständlicher Weise immer noch als praetrematischer Ast bezeichnet (p. 257) und abgebildet (Fig. 294).

Momente erklärt. Das erste ist die Gliederung und streckenweise Obliteration des Zungenbeinbogens; das zweite ist in der Reduktion und Verschiebung des Restes der Hyomandibulartasche zu sehen; das dritte endlich stellt die medialwärts gerichtete Abdrängung des Nerven gegen die Ohrkapsel zu durch die spätere Entwicklung des Quadrates dar. So findet sich die Chorda tympani schließlich am medialen Eingang des Columellakanals, von welchem aus sie, ohne dem Gehörknöchelchen weiter zu folgen, sich am medialen, resp. kaudalen Rand des Proc. articularis quadrati grade herabsenkt, um hier oral von der Tube (erste Branchialspalte) zur Innenseite des Kieferbogens zu gelangen. Hier wird der Nerv in der für alle Nichtsäuger konstanten Lage zum Kiefergelenk und Meckelschen Knorpel angetroffen.

Bei den Verhältnissen dieses Nerven, speziell seiner Lage zum primordialen Hyoidbogen und zur Columella auris mußte länger verweilt werden, weil Fuchs[1]) sich kürzlich u. a. auf Verlaufseigentümlichkeiten der Chorda tympani berufen hat, welche zeigen sollen, daß die Beziehungen der Nerven auch zum Primordialskelett inkonstant seien. Das Verhalten der Chorda tympani zum Primordialskelett kann man nun keineswegs überschauen, wenn man, wie Fuchs es tut, Salamandra sowie einige Reptilien- und Säugerembryonen einander gegenüber stellt. Die einzige Möglichkeit, die Morphologie dieses Nerven zu verstehen, fand sich in der Feststellung seiner Eigenschaft als Hyoidbogennerv, welche in der primären Autostylie der Notidaniden, nicht in der von Fuchs gelegentlich angeführten, längst als sekundär nachgewiesenen Hyostilie ihren primitivsten Ausdruck findet. Unter neueren Untersuchern kam vor allem Drüner,[2]) gerade von den Urodelen ausgehend, zu derselben Grundanschauung. Auch Drüner nennt die Chorda tympani einen Hyoidbogennerv und fügt hinzu, daß unter den Amphibien die Perennibranchiaten den primitivsten Zustand der Chorda tympani zeigen; dieser wird von Drüner also ebenfalls an der Beziehung dieses Nerven zu primordialen Skeletteilen gemessen. Hierbei können die weiteren Beziehungen dieses Nerven zum primordialen Unterkiefer und Kiefergelenk, welche als etwas Sekundäres anzusehen sind, an dieser Stelle unerörtert bleiben, um so eher, als das Fuchssche Argument gerade die dorsale Nervenstrecke und ihr Verhältnis zum Hyoidbogen und seinem Derivat im Auge hat. Die Bezeichnung „Hyoidbogennerv" kann doch wohl nur bedeuten, daß auch Drüner die Beziehungen dieses Nerven zu seinem primordialen Skeletteil als feststehend und damit als brauchbaren Ausgangspunkt zum Verständnis späteren Wechsels betrachtet. Aus Drüners Ausführungen geht ferner aufs Deutlichste hervor, wie scharf er diese Beziehungen des Nerven von denjenigen zu Deckknochen trennt, im Gegensatz zu Fuchs; wie ihm endlich die Perennibranchiaten in

[1]) H. Fuchs, Über die Homologie der Paukenhöhlen und das Verhältnis zwischen Nervenverlauf und Skelett, Anat. Anz., Bd. 37, 1910. Von einer besonderen Erwiderung dieses bereits zitierten Artikels habe ich absehen können, da derselbe für den aufmerksamen Leser einmal zahlreiche Erklärungen, Richtigstellungen und Zurückziehungen früherer Äußerungen des Autors enthält und anderseits an mehreren Stellen das offene Eingeständnis, daß ich frühere Äußerungen des Autors über meine Ergebnisse mißverstehen mußte. Mein Artikel gegen Fuchs: Nochmals die Homologie der Paukenhöhle, Anat. Anz., Bd. 37, 1910, in welchem ich gegen Fuchs' unrichtige Zitate und Auslegungen meiner früheren Ergebnisse protestierte, war also durchaus berechtigt.

[2]) L. Drüner, Über die Muskulatur des Visceralskeletts der Urodelen, Anat. Anz., Bd. 33, 1903, p. 533 (Fußnote) und 549. Hier sei gerade Drüner zitiert, weil er nicht auf dem Boden der Reichertschen Lehre steht.

dieser Erörterung maßgebend sind, nicht etwa Salamandra. Analoge Nachweise dauernd fester Beziehungen zwischen Nerv und Primordialskelett sind ja allenthalben in großer Zahl geführt worden, z. B. für die Nerven der Vagusgruppe u. a. und dienen seit langem der vergleichenden morphologischen und entwicklungsgeschichtlichen Betrachtung dieser Körpergegenden als unentbehrliche Grundlage.

Fuchs hat sich mir gegenüber auf Verlaufseigentümlichkeiten der Chorda tympani berufen, die sich gerade nicht als konstant erwiesen haben, die eben nicht von dem primitiven Verhältnis zwischen Nerv und Primordialskelett direkt abgeleitet werden können, sondern die einerseits einen weitgehenden Schwund oder vollständige Umformung primordialer Skeletteile in Anpassung an spätere Verhältnisse zur Voraussetzung haben, andererseits nur auf einzelne Reptilienarten beschränkt erscheinen und auch bei diesen sehr wechselnd auftreten. Es kann nicht bestritten werden, daß die Chorda tympani bei allen Nichtsäugern in der Hauptsache zunächst doch der Columella folgt. Das hat gerade wieder die vorliegende Untersuchung bei Testudo graeca ergeben. Die weiter peripher auftretenden mannigfaltigen Beziehungen der Chorda tympani zu den suspensorio-stapedialen Brücken mancher Urodelen, zu den mannigfachen extracolumellaren Bildungen mancher Sauropsiden können also, weil alle sekundärer Natur, mit dem primitiven Verhalten dieses Nerven zu seinem zugehörigen primordialen Visceralbogen nicht auf eine Stufe gestellt werden. Hier ist noch weit mehr, wie bei den verschiedenen Austrittsweisen mancher Nerven aus dem Cranium, welche Fuchs außerdem anführt, doch erst zu prüfen, was sich alles am Primordialskelett geändert hat, was noch als primordial, und was lediglich als spätere Anpassung anzusehen ist. Im höchsten Maße trifft dies zu, wenn man in dem Hammer-Ambosgelenk der Säuger das äußerst reduzierte und verlagerte Kiefergelenk der Nichtsäuger sieht. Man wird sich in allen diesen Fällen doch zuerst fragen müssen, welche Änderungen sich denn an den als primordial anzusehenden Skeletteilen vollzogen haben, und hierbei wird der jeweilige Nervenverlauf unter anderen Kriterien als Wegweiser dienen können. Die Vorfrage, ob und in welchem Sinne und Grade sekundäre Umformungen, vielleicht Reduktionen primordialer Skeletteile vorangegangen sind, hat Fuchs auch bei den anderen gegen mich angeführten Punkten übersehen,[1]) so bei seiner Beurteilung der Austrittsweise der Nn. glossopharyngeus und hypoglossus aus dem Cranium. Weil das Verhältnis der Nerven zum Primordialskelett auch in diesen Punkten ein festes ist, wird eine Abweichung in der Austrittweise darauf schließen lassen, daß sich hier am Cranium Änderungen vollzogen haben. Das ist aber gerade das Gegenteil von dem, was Fuchs aus diesen Dingen gefolgert hat.

Gerade auch im Hinblick auf die hier erörterten Fragen über die Beziehungen der Nerven zum Primordialskelett habe ich in letzter Zeit die Entwicklung des Visceralskelettes der Schildkröten zu Rate gezogen. In dem hier herausgegriffenen Beispiel sieht man also eine ursprünglich fast einheitliche Anlage eines primordialen Hyoidbogens in kürzester Zeit in mehrere Teile zerfallen, die einerseits teils in beschleunigtem Tempo weiter rückgebildet werden, sodaß die Kontinuität des Bogens auf große Strecken ganz aufgehoben wird, andererseits in Anpassung an abgeänderte spätere Funktionen eine Verlagerung erfahren und nun, wie das eine Derivat, die Columella auris, an beiden Enden sekundäre

[1]) Es handelt sich hier um eine ganze Reihe Belege für das in der Fußnote (p. 40) Gesagte.

Beziehungen gewinnen und sich umformen. Die Chorda tympani verläuft zunächst parallel mit dem dorsalen Rudiment ihres Bogens. Ihr Abschwenken oralwärts in den Bereich des Kieferbogens findet bei T. graeca auch ontogenetisch durch die Lageveränderung der Columella, die Umwandlung ihres distalen Endes nach Kontinuitätstrennung des Bogens, den Schwund fast des gesamten Ventralteiles und endlich durch die Obliteration des größten Teiles der ersten Schlundspalte eine vielfache und leicht verständliche Erklärung. Der völlige Schwund oder die weitgehende Zersplitterung eines primordialen Skeletteiles, dessen Rudimente nun ihrerseits wieder im Dienste einer neuen Funktion verlagert oder umgeformt werden, sind u. a. die Umstände, welche nun gewissermaßen den Nerven frei werden lassen. Aber gerade die erst jetzt unumgängliche Ablenkung einer sekundär ihrer primordialen Skelettbeziehungen beraubten Nervenstrecke ist eben ein weiteres Zeugnis für die während Bestehens dieses primordialen Skeletteiles festen Beziehungen. Wenn aber nur noch ein Teil von zweien existiert, kann es kein Verhältnis zwischen zwei Teilen mehr geben. Alle jene Änderungen können meines Erachtens überhaupt nur verstanden werden, wenn man den ursprünglichen Zustand festgestellt hat und im Auge behält.

Zieht man aus vorliegender Untersuchung die Endergebnisse, so lassen sich diese in drei Hauptpunkten zusammenfassen:

1. Die anfangs streptostyle Anlage des Quadrates geht bald in Monimostylie[1]) über; in Übereinstimmung damit verwachsen die beiden Unterkieferhälften sehr frühzeitig miteinander. Der feste beißkräftige Kieferapparat entsteht also schon zu Beginn der Ontogenese des Skelettes. Die Entwicklung der Schildkröten führt in diesem Punkt demnach schon frühzeitig abseits und leitet nicht zu Säugerzuständen hinüber.

2. Die Columella auris von Testudo graeca entsteht aus dem Dorsalabschnitt des Zungenbeinbogens.

3. Die Paukenhöhle dieser Schildkröte entsteht im direkten Anschluß an die Existenz der ersten beiden Visceralspalten, und zwar deren Dorsalbezirke; diese werden zu ihrem Aufbau verwendet.

Ersteres Resultat war im Hinblick auf die ganze Konfiguration des ausgebildeten Schildkrötenschädels kaum anders zu erwarten. Auf die beiden folgenden Ergebnisse wiesen bereits die Befunde der vergleichenden Anatomie, speziell Neurologie und die überwiegende Mehrzahl der darauf hinzielenden ontogenetischen Untersuchungen hin; es war nur das eine fraglich, ob sich die Vorgänge innerhalb der oft so unzuverlässigen Ontogenese in dieser Klarheit verfolgen ließen. Von vornherein liegt der Gedanke nahe, daß ein Gebilde, wie der schalleitende Apparat, aus bereits vorhandenem Visceralbogenmaterial hervorgehen, und daß nicht erst nach Zugrundegehen dieses Materials eine von der Ohrkapsel ausgehende Neubildung an seine Stelle treten wird. An dieser Auffassung vermag auch die Tatsache, daß

[1]) Die während Drucklegung dieser Ergebnisse erschienene erschöpfende Abhandlung von J. Versluys über „Das Streptostylie-Problem und die Bewegungen im Schädel bei Sauropsiden“, Zool. Jahrb., Suppl. XV, 2. Bd., 1912 konnte hier leider nicht mehr berücksichtigt werden.

sich die Columella auris der Amphibien im Zusammenhang mit der Ohrkapsel entwickelt, nicht viel zu ändern ist. Nimmt doch die ganze Ohrgegend besonders bei Urodelen frühzeitig etwas Starres an und macht im ausgebildeten Zustand stets einen mehr oder weniger rudimentären Eindruck. Um so weniger wird man bei diesen Formen auf Einzelvorgänge in der Ontogenese, auf Verschmelzungen oder Trennungen von Skeletteilen im Blastem- oder Knorpelstadium allzu großes Gewicht legen dürfen. Wie unzuverlässig die Berücksichtigung ontogenetischer Befunde allein ist, hat die schon früher bei Reptilien bekannte, in der vorliegenden Untersuchung über T. graeca wieder beobachtete anfängliche Verschmelzung von Extracolumella und Quadrat gezeigt. Trotzdem wird niemand bestreiten wollen, daß die beiden Skeletteile zwei verschiedenen Visceralbogen entstammen. Die Reduktionsvorgänge an dem schalleitenden Apparat der Urodelen können weit zurückgehen, die ontogenetische Selbständigkeit einzelner Skeletteile kann demgemäß frühzeitig aufgehoben und somit der stammesgeschichtliche Hergang längst verschleiert worden sein.

Ebensowenig wird man von vornherein annehmen können, daß ein durch die ganze Wirbeltierreihe mit der Mundhöhle in Zusammenhang stehendes Spaltensystem verschwinden wird, um dann einer völlig neuen, sekundären Ausstülpung derselben Mundhöhle und in derselben Richtung Platz zu machen. Es kommt nur darauf an, die Ontogenese, in welcher gerade die für die phylogenetische Beurteilung entscheidenden morphologischen Vorgänge doch oft ganz ausgefallen oder stark verwischt sind, auf eindeutigen Stadien gleichsam zu ertappen, d. h. auf Stadien, die klar und einwandfrei von den Ascendenten ererbt sind. Das ist bei Testudo graeca sowohl betreffs der Entwicklung des schalleitenden Apparates, wie der Paukenhöhle gelungen, und das zu zeigen war der Hauptzweck dieser Abhandlung.

Neben diesem Hauptergebnis sind in zweiter Linie einige Einzelresultate zu nennen, welche der Diskussion einen ausgiebigen Spielraum lassen. Hierher gehören die Fragen nach der genaueren Abgrenzung des Ursprungsgebietes der Paukenhöhle und der Tube, nach der Herkunft der Extracolumella und des Trommelfells.

Es wurde nachgewiesen, daß die beiden ersten Schlundspalten Anteil an der Paukenbildung haben und zwar nur ihre Dorsalausrüstungen; von letzterem sind es vorwiegend wieder die medialen Abschnitte, während die lateralen ganz zu Grunde gehen. Eine weitergehende Durchführung der Ableitung ist schon deshalb unmöglich, weil beide Spalten ja bis auf dünne Schläuche obliterieren, aus deren Kommunikation dann die eigentliche Paukenhöhle hervorgeht. Dazu kommen dann die bei Schildkröten besonders komplizierten, durch das Quadrat bedingten Lageveränderungen und späteren Umformungen. Form und Ausdehnung der Pauke geben später einfach die der Quadrathöhlung wieder. Mit der Frage nach der Herkunft der Paukenhöhle haben alle diese Einzelbeobachtungen aus der späteren Ontogenese nichts mehr zu tun.

Gegenüber den Resultaten bei Eidechsen bedeutet der Nachweis der Beteiligung auch der ersten Branchialspalte bei T. graeca etwas neues. Meine vergleichenden Untersuchungen über die Innervation des Mittelohres ließen diese Beteiligung bereits erwarten (l. c., p. 390/393). Bemerkenswert ist ferner noch, daß der Spalt zwischen Ohrkapsel und Quadrat bei T. graeca weder während der Ontogenese noch beim ausgebildeten Tiere ein Lumen besitzt, von der eigentlichen Paukenhöhle also abgetrennt ist. Es ist also nicht gerechtfertigt, zwei Paukenräume bei Schildkröten zu unterscheiden.

Die Tube, welche in frühen Stadien eine größere Länge besitzt, konnte mit Sicherheit auf den Rest der ersten Branchialspalte zurückgeführt werden. Diesen Nachweis kann weder die veränderte Form, noch die Lage der definitiven Tube beeinflussen; beide stehen ebenfalls unter dem Einfluß späterer Skelettveränderungen.

Die Extracolumella entsteht gleichfalls innerhalb des Visceralspaltenseptums, welches den Hyoidbogen enthält, erscheint jedoch durch ihre Lage außerhalb des eigentlichen Bogenbereiches, durch das stete Zurückbleiben hinter der Columella und den sehr späten Übergang in die definitive Form als ein sekundärer Zuwachs, wie auch bei anderen Reptilien.

Das Trommelfell hat sich auch bei T. graeca als eine späte Bildung herausgestellt, die nicht an die Lokalisation bestimmter Schlundspalten-Bezirke gebunden ist; es bildet nicht die Verschlußmembran einer oder mehrerer Visceralspalten, sondern der summierten Derivate zweier Spalten: der Paukenhöhle. Das Trommelfell entwickelt sich, soweit die hier besonders unklare Ontogenese einen Schluß gestattet, teils aus dem Blastem der Extracolumella, teils aus dem des Quadrats. Zu derselben Anschauung sind viele andere Autoren, vor allem auch Gaupp[1]) gekommen, der die Trommelfellbildungen der verschiedenen Wirbeltierklassen schon 1898 als sekundäre Parallelbildungen, nicht als Homologa bezeichnet hat.

Das Entoglossum[2]) entsteht erst viel später, wie das ganze Hyobranchialskelett, und durchaus unabhängig von diesem. Es entwickelt sich aus dem Bindegewebe ventral und oral von der Spitze des Processus lingualis hyoidei etwa zur Zeit des Überganges des Visceralskeletts in reifen Knorpel und wandelt sich direkt in Knorpelgewebe um.

Die Knorpelgenese im allgemeinen hat sich wieder als ein in vielen Einzelheiten caenogenetischer Vorgang erwiesen, der ohne Vergleich mit ausgebildeten Formen keineswegs immer auf die Phylogenese übertragen werden kann. Die Entwicklung des Quadratum enthält hierfür zahlreiche Belege.

---

[1]) E. Gaupp, Ontogenese und Phylogenese des schalleitenden Apparates bei den Wirbeltieren. Erg. d. Anat. und Entwicklungsgesch. (Merkel-Bonnet), Bd. 8, 1898.

[2]) Zu demselben Ergebnis kam L. Nick bei Chelonia und Dermochelys in seiner umfassenden Arbeit über das Kopfskelett im Dermochelys coriacea L. Zool. Jahrb., Bd. 33, 1912, die hier nicht mehr eingehend berücksichtigt werden konnte.

Literaturverzeichnis.

1. J. F. van Bemmelen, Die Visceraltaschen und Aortenbogen bei Reptilien und Vögeln. Zool. Anz. 1886.
2. O. Bender, Die Homologie des Spritzloches der Selachier und der Paukenhöhlen der Amphibien, Sauropsiden und Säugetiere auf Grund ihrer Innervation. Verhandlungen der anatom. Gesellschaft in Würzburg, 1907.
3. —, Die Schleimhautnerven des Facialis, Glossopharyngens und Vagus. Studien zur Morphologie des Mittelohres und der benachbarten Kopfregion der Wirbeltiere. Semon, Zoolog. Forschungsreisen, 1906. Erschienen 1907.
4. —, Nochmals die Homologie der Paukenhöhlen. Anat. Anz., Bd. 37, 1910.
5. —, Über Herkunft und Entwicklung der Columella auris bei Testudo graeca. Anat. Anz., Bd. 40, 1911.
6. E. Cords, Die Entwicklung der Paukenhöhle von Lacerta agilis. Ein Beitrag zur Lehre vom schallleitenden Apparat der Wirbeltiere. Anat. Hefte, Bd. 38, 1909.
7. L. Drüner, Über die Muskulatur des Visceralskeletts der Urodelen. Anat. Anz., Bd. 23, 1903.
8. Filatoff, Zur Frage über die Anlage des Knorpelschädels bei einigen Wirbeltieren. Anat. Anz., Bd. 29, 1906.
9. H. Fuchs, Über die Entwicklung des Operculums der Urodelen und des Distelidiums (Columella auris) einiger Reptilien. Verhandlungen der anatom. Gesellschaft in Würzburg, 1907.
10. —, Über das Pterygoid, Palatinum und Parasphenoid der Quadrupeden, insbesondere der Reptilien und Säugetiere, nebst einigen Betrachtungen über die Beziehungen zwischen Nerven und Skelettteilen. Anat. Anz., Bd. 36, 1910.
11. E. Gaupp, Ontogenese und Phylogenese des schalleitenden Apparates bei den Wirbeltieren. Ergebnisse der Anatomie und Entwicklungsgeschichte (Merkel-Bonnet), Bd. 8, 1898.
12. —, Das Chondrocranium von Lacerta agilis. Ein Beitrag zum Verständnis des Amniotenschädels. Anat. Hefte, Bd. 14, 1900.
13. —, Die Entwicklung des Kopfskeletts. Handbuch der vergleichenden und experimentellen Entwicklungslehre der Wirbeltiere, herausgegeben von O. Hertwig, Bd. III, Teil 2, 1905.
14. —, Säugerpterygoid und Echidnapterygoid, nebst Bemerkungen über das Säugerpalatinum und den Processus basipterygoideus. Anat. Hefte, Bd. 42, 1910.
15. —, Die Verwandtschaftsbeziehungen der Säuger, vom Standpunkt der Schädelmorphologie aus erörtert. Verhandlungen des VIII. Internationalen Zoologen-Kongresses zu Graz, 1910.
16. —, Beiträge zur Kenntnis des Unterkiefers der Wirbeltiere. Anat. Anz., Bd. 39, 1911.
17. Grosser und Brezina, Über die Entwicklung der Venen des Kopfes und Halses bei Reptilien. Morphol. Jahrb., Bd. 23, 1895.
18. C. Hasse, Das Gehörorgan der Schildkröten. Anat. Studien, I, 1873.
19. C. K. Hoffmann, Über die Beziehung der ersten Kiementasche zur Anlage der Tuba Eustachii und des Cavum tympani. Archiv für mikroskop. Anatomie, Bd. 23, 1884.
20. —, Über die morphologische Bedeutung des Gehörknöchelchens bei den Reptilien. Zoolog. Anz., Bd. 12, 1889.
21. O. Jaekel, Über die primäre Gliederung des Unterkiefers. Sitzungsber. Naturforsch. Freunde zu Berlin, 1905.
22. J. S. Kingsley, The ossicula auditus. Tufts Coll. Stud. VI, vol. I, 1894—1904.

23. B. W. Kunkel, Zur Entwicklungsgeschichte und vergleichenden Morphologie des Schildkrötenschädels. Anat. Anz., Bd. 39, 1911.
24. W. Lubosch, Die embryonale Entwicklung des Knorpelgewebes und ihre stammesgeschichtliche Bedeutung. Biol. Zentralbl., Bd. 29, 1909.
25. H. Lundvall, Über Demonstration embryonaler Knorpelskelette. Anat. Anz., Bd. 25, 1904 und Bd. 27, 1905.
26. F. Maurer, Die Entwicklung des Darmsystems. Hertwigs Handbuch, Bd. II, Teil 1, 1905.
27. E. Mehnert, Gastrulation und Keimblätterbildung der Emys lutaria taurica. Erster Teil einer Entwicklungsgeschichte der Emys lutaria taurica. Morphol. Arbeiten, I, 1892.
28. Mitsukuri, Arbeiten über die Keimblattbildung der Chelonier. Journ. Coll. Sc. Imp. Univ. Japan. Vol. I, Tokio 1886, V, 1891, VI, 1893, X, 1896.
29. W. Moeller, Zur Kenntnis der Entwicklung des Gehörknöchelchens bei der Kreuzotter und der Ringelnatter, nebst Bemerkungen zur Neurologie dieser Schlangen. Archiv für mikroskopische Anatomie, Bd. 65, 1905.
30. L. Nick, Das Kopfskelett von Dermochelys coriacea. Zool. Jahrb., Bd. 33, 1912. (Nur Titel.)
31. Noack, Über die Entwicklung des Mittelohres vom Emys europaea. Archiv für mikroskopische Anatomie, Bd. 69, 1907.
32. Schauinsland, Weitere Beiträge zur Entwicklungsgeschichte der Hatteria (Skelettsystem, schallleitender Apparat und Hirnnerven). Archiv für mikroskop. Anatomie, Bd. 57, 1900.
33. F. Siebenrock, Der Zungenbeinapparat und Kehlkopf samt Luftröhre von Testudo calcarata (Schneid.). Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. zu Wien, Bd. 109, I, 1900.
34. J. Versluys, Die mittlere und äußere Ohrsphäre der Lacertilia und Rhynchocephalia. Zoolog. Jahrb., Abt. f. Anat., Bd. 12, 1898.
35. —, Entwicklung der Columella auris bei den Lacertiliern. Ebenda, Bd. 19, 1903.
36. —, Das Streptostylie-Problem und die Bewegungen im Schädel bei Sauropsiden. Ebenda, Suppl. XV, Bd. 2, 1912. (Nur Titel.)

Erklärung der Tafelfiguren.

Die Figuren 8—11 auf Tafel II, sowie alle Abbildungen auf den Tafeln III—VII verdanke ich dem Kunstmaler Herrn Fritz Skell in München.

Tafel I.

Fig. 1. Embryo 34 b, total. Vergr. 9 : 1. Es sind vier annähernd parallel verlaufende Visceralspalten sichtbar (Hyomandibular- und 1—3 Branchialspalte). Der Ohrknopf existiert noch nicht. Halsgegend noch ziemlich gestreckt. Rückenschildanlage erst angedeutet. Extremitäten noch ungegliederte Stummel. Skelettblasteme mikroskopisch noch nicht abgrenzbar.

Fig. 2. Embryo 18, total. Vergr. 9 : 1. Halsgegend stärker gekrümmt. Unterkieferwülste sichtbar, median noch nicht vereinigt. Hyomandibularspalte geschlossen. Beginnende Überlagerung der I. Branchialspalte durch den vom Hyoidbogen kaudalwärts vorwachsenden „Kiemendeckel". Darüber der Ohrknopf. Entwicklung des Rückenschildes und der Extremitäten fortgeschritten.

Fig. 3. Embryo 36 b, total. Vergr. 9 : 1. Während die Visceralspalten bereits fortgeschrittener sind, wie auf Fig. 2, sind die Extremitätenanlagen noch weiter zurück.

Fig. 4. Embryo 79 d, total. Vergr. 9 : 1. Halsgegend stärker gekrümmt; Visceralspalten geschlossen. Kaudalrand des „Kiemendeckels" noch sichtbar. Ohrknopf deutlich zweiteilig. Länge des Rückenschildes 5,9 mm. Extremitätenenden ruderblattförmig verbreitert; noch keine Phalangenbildung. Mikroskopisch Skelett im Blastemstadium.

Figg. 5 u. 6. Embryonen 80 b und 90 a, total. Vergr. $9^1/_2$: 1. Geben die verschiedene Form des Ohrknopfes wieder; sonst wie Fig. 4. Länge des Rückenschildes 5,9 resp. 6,3 mm.

Tafel II.

Fig. 7. Embryo 19 b, total. Vergr. 9 : 1. Visceralspalten bis auf die gemeinsame Öffnung unter dem „Kiemendeckel" geschlossen. Ohrknopf beginnt sich zu verflachen. Länge des Rückenschildes 6,1 mm. Extremitäten unverändert. Mikroskopisch Skelett im Vorknorpelstadium.

Fig. 8. Kopf von Embryo 89 c. Vergr. 9 : 1. Länge des Rückenschildes 7,9 mm. Visceralspalten völlig geschlossen. An den Extremitäten deutliche Phalangenbildung. Großer stark vorspringender, ungeteilter Ohrknopf; auf der Kuppe desselben eine leichte Einziehung. Bewegt nach Öffnung des Eies bereits Kopf und Extremitäten. Mikroskopisch Skelett im Übergang zum Jungknorpelstadium.

Fig. 9. Kopf von Embryo 113 e. Vergr. 9 : 1. Länge des Rückenschildes ca. 9,5 mm. Ohrknopf verschwunden; an seiner Stelle der nierenbeckenförmige Quadratkörper deutlich sichtbar. Skelett im Jungknorpelstadium.

Fig. 10. Kopf von Embryo 50 a. Vergr. 9 : 1. Nach Lundvall aufgehellt und mit Methylgrün gefärbt. Besonders deutlich: Nierenbeckenform des Quadrats, Kiefergelenk und Meckelscher Knorpel. Dasselbe Stadium, wie Fig. 9.

Fig. 11. Embryo 50 b, total. Vergr. 6 : 1. Kurz vor dem Ausschlüpfen.

Tafel III (Modelle).

Alle Modelle sind absichtlich ohne jede Retouche gezeichnet worden.

Fig. 12. Modell der Visceralspalten und der Mundhöhle von Embryo 34 b, in 100facher Vergr. Nat. Gr. Linke Seite von lateral und dorsal. Skelettblasteme noch nicht abgrenzbar, deshalb fortgelassen. Hyomandibularspalte nur im Dorsalbereich angelegt. 1—3 Branchialspalte ganz sichtbar. Gefäße unvollständig, nur der Lage nach angedeutet.

Fig. 13. Dasselbe Modell, wie in Fig. 1. Ausschnitt desselben von ventral, um den Recessus ventralis und die vierte Branchialspalte zu zeigen.

Fig. 14. Modell des Kieferbogens im Blastem- resp. Vorknorpelstadium. 100fache Vergr. Nat. Gr. Rechte Seite von medial.

Tafel IV (Modelle).

Fig. 15. Modell der Columella auris und der sie begrenzenden Visceralspalten bei Embryo 90 a. Chondroblastemstadium. 100fache Vergr. Nat. Gr. Rechte Seite von dorsal gesehen. Die dorsal gelegenen Gefäße und Ohrkapselteile (Crista parotica) abgetragen.

Fig. 16. Die Columella auris von dem gleichen Modell allein; von kaudal und dorsal gesehen.

Fig. 17. Dasselbe Modell von der Lateralseite. Blasteme des Quadrats, der Ohrkapsel; ferner die Vena cap. lat. nur teilweise dargestellt. In das Ektoderm ist wieder ein Fenster geschnitten. Das Muskelblastem des N. facialis mit dem R. hyomandibularis ist abgetragen, um die Lage der drei Hyoidbogenteile (Columella auris, Interhyale und Ventralstück) zu zeigen.

Tafel V (Modelle).

Fig. 18. Hyobranchialskelett im Chondroblastemstadium. 100fache Verg. Nat. Gr. Ventralansicht. Ektoderm im Bereich des Hyoidbogens und der VII-Muskulatur abgetragen. Quadratblastem nur teilweise dargestellt.

Fig. 19. Modell der Mittelohrgegend von Embryo 89 c. 100fache Vergr. Nat. Gr. Übergang des Vorknorpels in Jungknorpel. Linke Seite von kaudal und ventral. Columella auris größtenteils abgetragen, um die beiden Paukenschläuche (Visceraltaschenderivate) zu zeigen. Contour der Columella punktiert.

Tafel VI (Modelle und Skeletteile).

(Die Figuren 22 u. 23, welche als Endstadium eigentlich auf Tafel VII gehören, mußten zwecks Ausnutzung des Raumes auf Tafel VI schon hier gebracht werden.)

Fig. 20. Ergänzungsbild zu Fig. 19. Ausschnitt desselben Modells von oral und ventral, um den Paukensack, die Kommunikation der beiden Schläuche vor der Columella auris zu zeigen.

Fig. 21. Modell der Mittelohrgegend von Embryo 113 c. 50fache Vergr. Nat. Gr. Linke Seite von ventral. Jungknorpelstadium; dient zur Erklärung der Lage der Columella auris, des Paukensackes, der Tube (= ventraler Paukenschlauch) und ihres Überganges in die Mundhöhle. Der dorsale (orale) Paukenschlauch (vgl. Fig. 19) ist obliteriert.

Fig. 22. Der schalleitende Apparat, Columella auris und Extracolumella einer erwachsenen Testudo graeca. ca. 30fache Vergr.

Fig. 23. Die Kiefergelenkkomponenten desselben Tieres zur Demonstration der Condylen und der Pfanne. ca. 6fache Vergr.

Tafel VII (Modelle).

Fig. 24. Modell der Mittelohrgegend von Embryo 113 c. 50 fache Vergr. Nat. Gr. Jungknorpelstadium. Rechte Seite von außen. Dargestellt sind nur die knorpeligen Skeletteile und die Paukenhöhle. Die Anlagen der Deckknochen sind fortgelassen. Schleimhaut der Paukenhöhle etwas verdickt wiedergegeben.

Fig. 25. Modell der Mittelohrgegend von Embryo 113 e. 50 fache Vergr. Nat. Gr. Linke Seite von außen und etwas von unten. Stadium des reifen Knorpels; Deckknochen mit Ausnahme des Squamosums weggelassen. Gibt die wichtigsten Gefäße und Nerven der Mittelohrgegend wieder. R. palatinus VII nicht sichtbar. Meckelscher Knorpel unvollständig modelliert.

Tafel I.

Fig. 6.

Fig. 3.

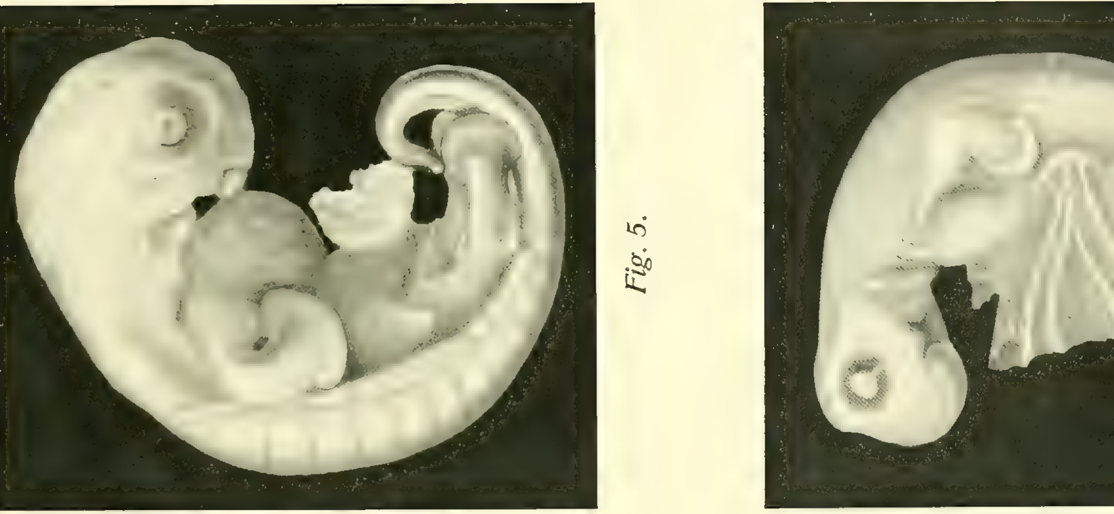


Fig. 5.

Fig. 2.

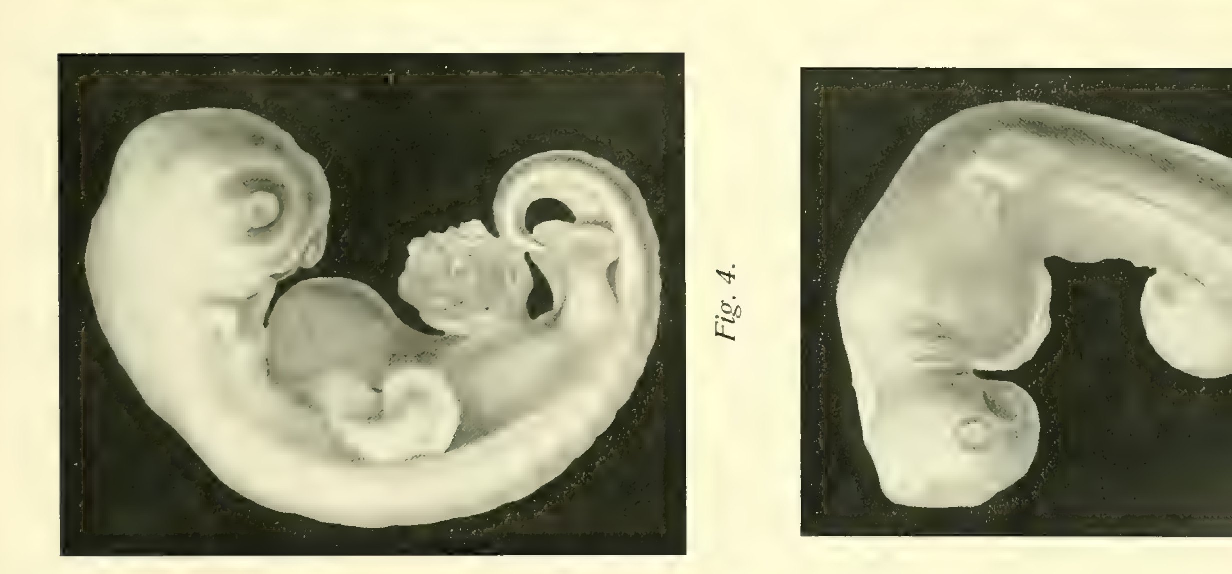


Fig. 4.

Fig. 1.



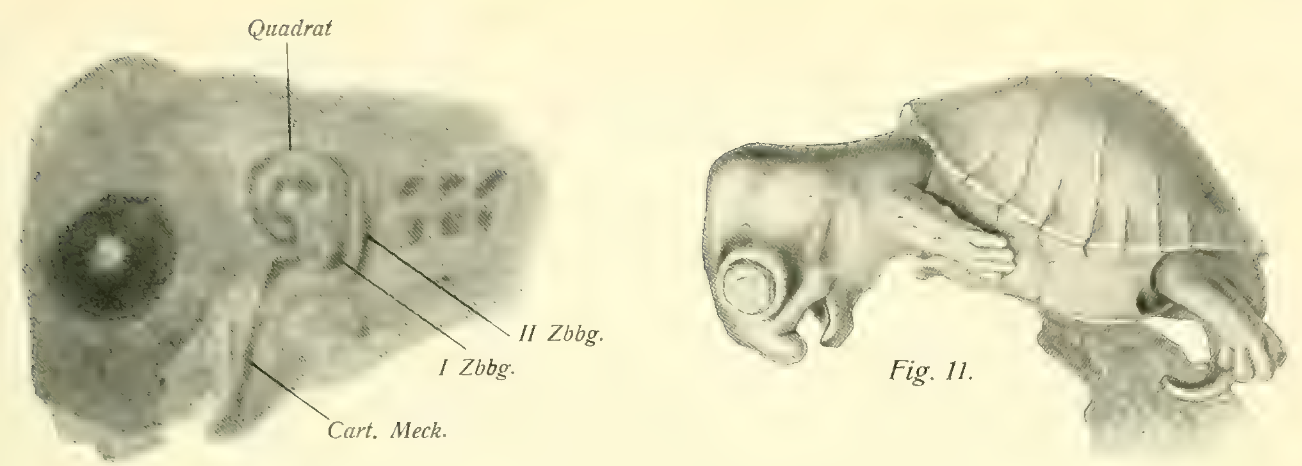


Fig. 10.

Fig. 11.



Fig. 9.



Fig. 8.



Fig. 7.



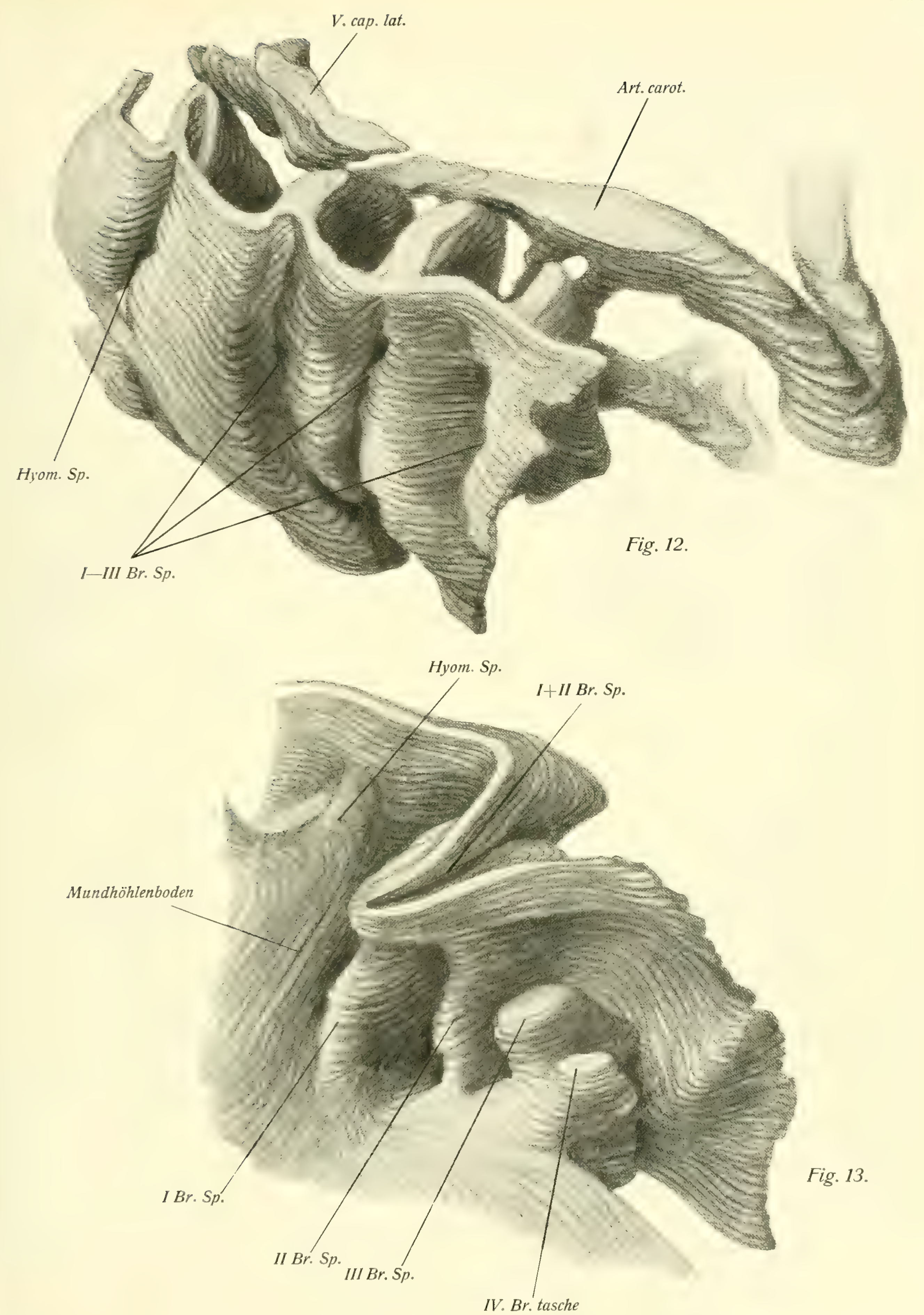


Fig. 12.

Fig. 13.

F. Skell gez.



Quadrat
Proc. pteryg. quadr.
Unt. Kief.

Fig. 14.

Dorsal
Ventral
Außenrand d. I. Branch. Sp.
Col.
Ventralstück d. Hyoidbog.
Interhyale
VII
Crista parot.
Col. prox. Ende
Vena c. lat.
Chorda tymp.
Quadrat
Extracol.
Ektoderm (Schnittrand)

Fig. 17.

Ohrknopf
Ektod. (Schnittrand)
Extracol.
Interhyale
I Br. Bg.
Quad.
VII
Col.
Hyom. Sp.
Chorda tymp.
R. comm. IX—VII
I Br. Sp. (Dors. Sp.)
VII Ggl.

Fig. 15.

Extracol.
Col.

Fig. 16.

F. Skell gez.



Extracol.
VII— Musk.
Ventralstück d. Hyoidbog.
Ektoderm (Schnittrand)
Interhyale
I Branch Sp.
II Branch. Sp.
Quadrat
III Branch Sp.
Mundschleimhaut (verdickt)
Aa. branch.
Mundhöhle
Ventralwand der Mundhöhle
Copula
I
II
Branch. Bog.

Fig. 18.

Unt. Paukenschlauch (I Br. Sp.)
Extracol.
Ob. Paukenschlauch (Hyom. sp.)
Quadrat
Col. contour
Schlundhöhle
Proc. pteryg. quadr.

Fig. 19.

F. Skell gez.



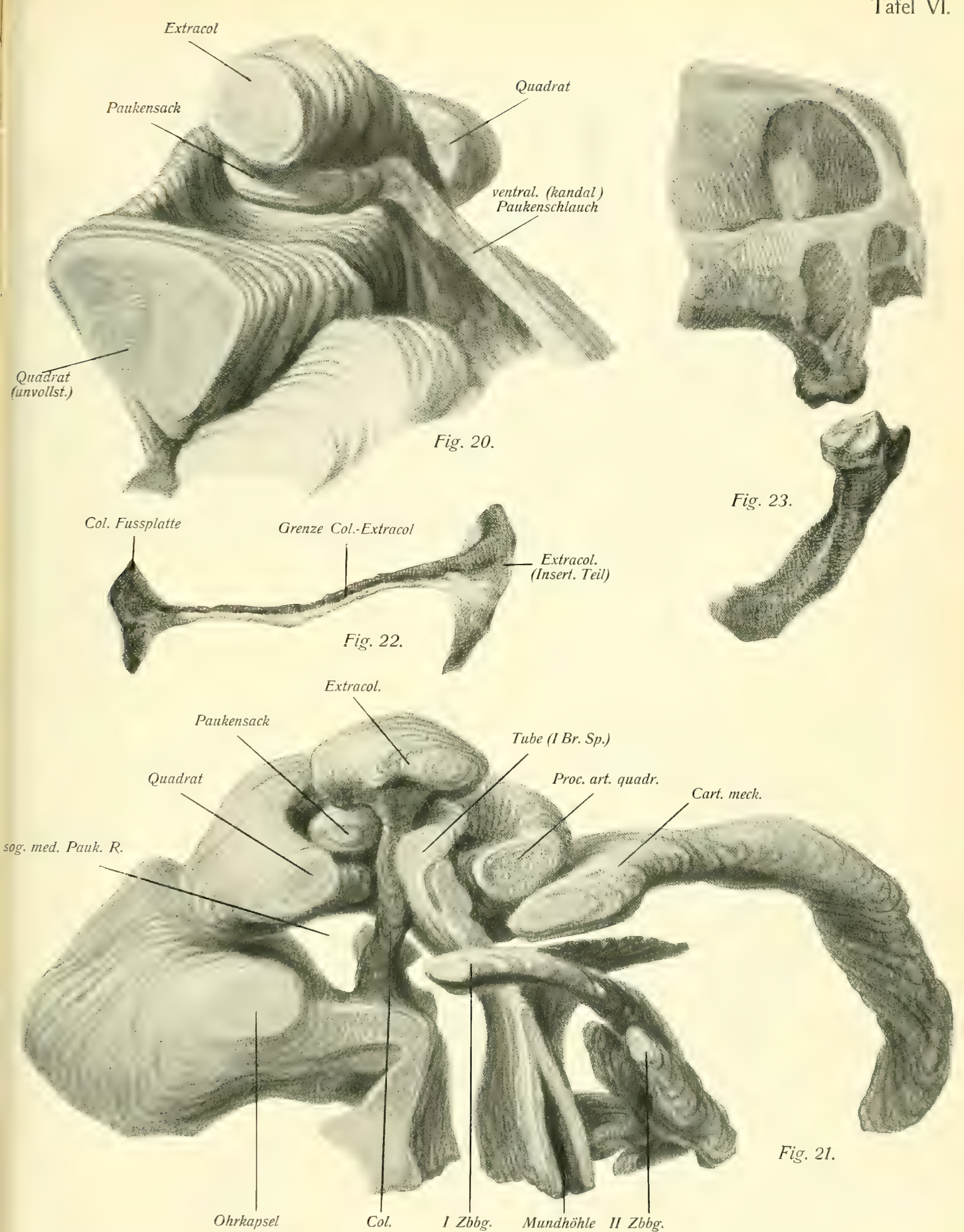


Fig. 20.

Fig. 23.

Fig. 22.

Fig. 21.

F. Skell gez.



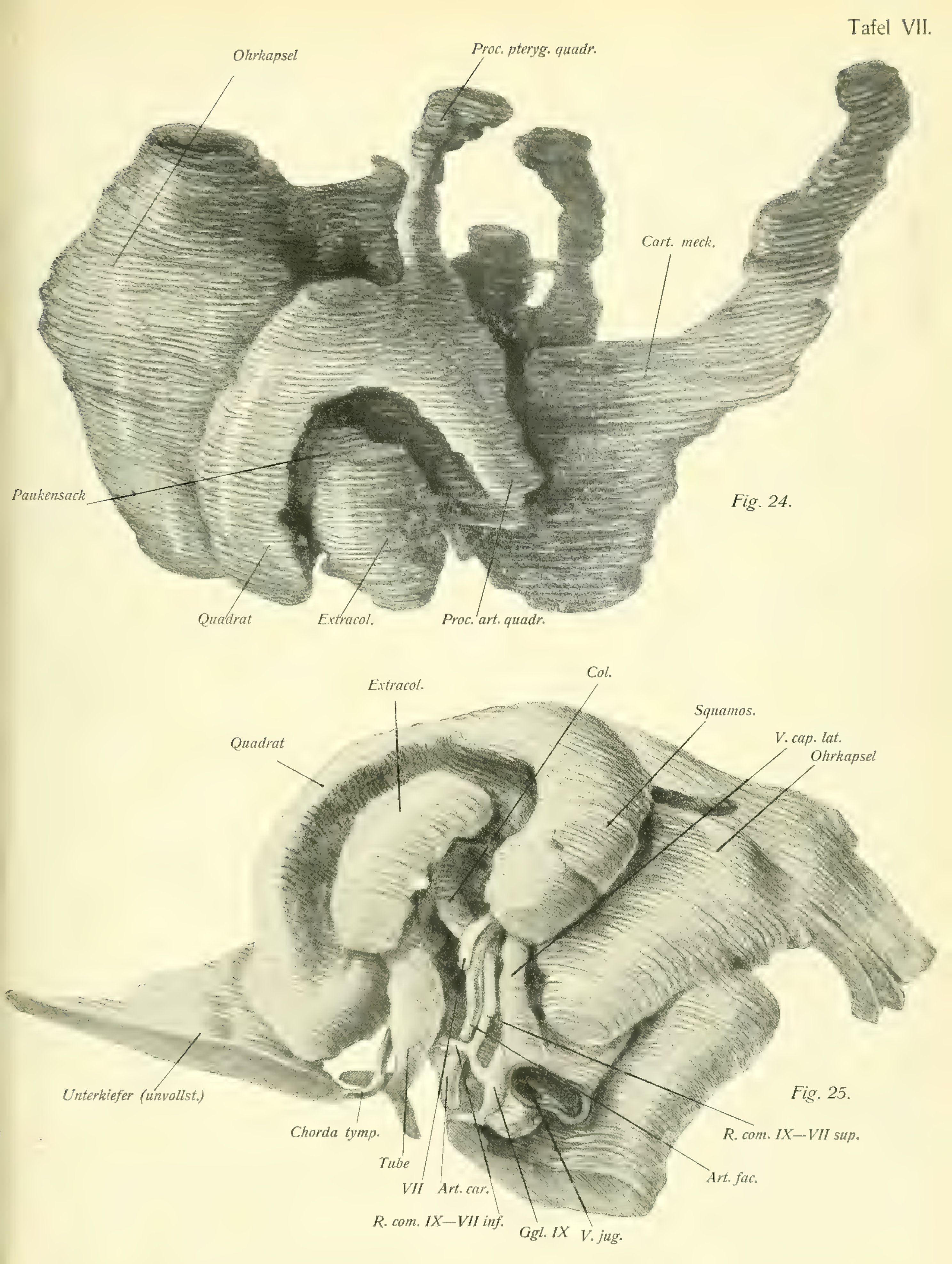


Fig. 24.

Fig. 25.

F. Skell gez.



Abhandlungen
der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
XXV. Band, 1. Abhandlung

Radium, Thorium und Aktinium
in der Atmosphäre
und ihre Bedeutung für die atmosphärische Elektrizität

von

Karl Kurz

mit 4 Tafeln

Vorgelegt am 12. Juni 1909

München 1909
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



Abhandlungen
der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
XXV. Band, 2. Abhandlung

Registrierungen der luftelektrischen Zerstreuung in unmittelbarer Nähe des Erdbodens

von

H. Ebert und **K. Kurz**

mit 3 Tafeln

Vorgelegt am 3. Juli 1909

1

München 1909
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)

Abhandlungen
der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
XXV. Band, 3. Abhandlung

Betrachtungen

über die

räumliche Verteilung der Fixsterne

(2. Abhandlung)

von

H. Seeliger.

Vorgelegt am 6. November 1909.

München 1909

Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



Abhandlungen
der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
XXV. Band, 4. Abhandlung

Über die singulären Lösungen einer Differentialgleichung erster Ordnung mit zwei Variabeln, insbesondere über diejenigen, welche zugleich partikuläre Integrale sind

von

Walther von Dyck

Vorgelegt am 4. Dezember 1909

München 1910
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



Abhandlungen
der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
XXV. Band, 5. Abhandlung

Zwei wiederaufgefundene Prognostica von Johann Kepler

auf die Jahre 1604 und 1624

von

Walther von Dyck

Vorgelegt am 5. November 1910

München 1910
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)

Abhandlungen
der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
XXV. Band, 6. Abhandlung

Monographie
der
fossilen Flora der Pithecanthropus-Schichten

von

Julius Schuster

Mit 27 Tafeln

Vorgelegt am 4. März 1911

München 1911
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



Abhandlungen
der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
XXV. Band, 7. Abhandlung

Spitzbergens Landformen
und ihre Vereisung

von

Erich von Drygalski

München 1911
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



Abhandlungen
der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
XXV. Band, 8. Abhandlung

Aus den wissenschaftlichen Ergebnissen der
Merzbacherschen Tian-Schan-Expedition

Geologische Untersuchungen im Chalyktau, Temurlyktau, Dsungarischen Alatau (Tian-Schan)

von

Kurt Leuchs

Mit 8 Tafeln und 18 Textfiguren

München 1912
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)

Abhandlungen
der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
XXV. Band, 9. Abhandlung

Das Glaubensbekenntnis von Johannes Kepler vom Jahre 1623

nach dem auf der Bibliothek des Prediger-Seminars in Wittenberg wiederaufgefundenen Original

herausgegeben
von
Walther von Dyck

Vorgelegt am 6. Mai 1911

München 1912
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



Abhandlungen
der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
XXV. Band, 10. Abhandlung

Ueber die Entwicklung des Visceralskelettes bei Testudo graeca.

I. Die Entwicklung des Kiefer- und des Zungenbeinbogens (Columella auris) und der Paukenhöhle

von

Otto Bender

Mit 7 Tafeln und 15 Abbildungen im Text

(Aus dem Anatomischen Institut der Universität München; Direktor: Prof. Dr. Rückert)

München 1912
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)

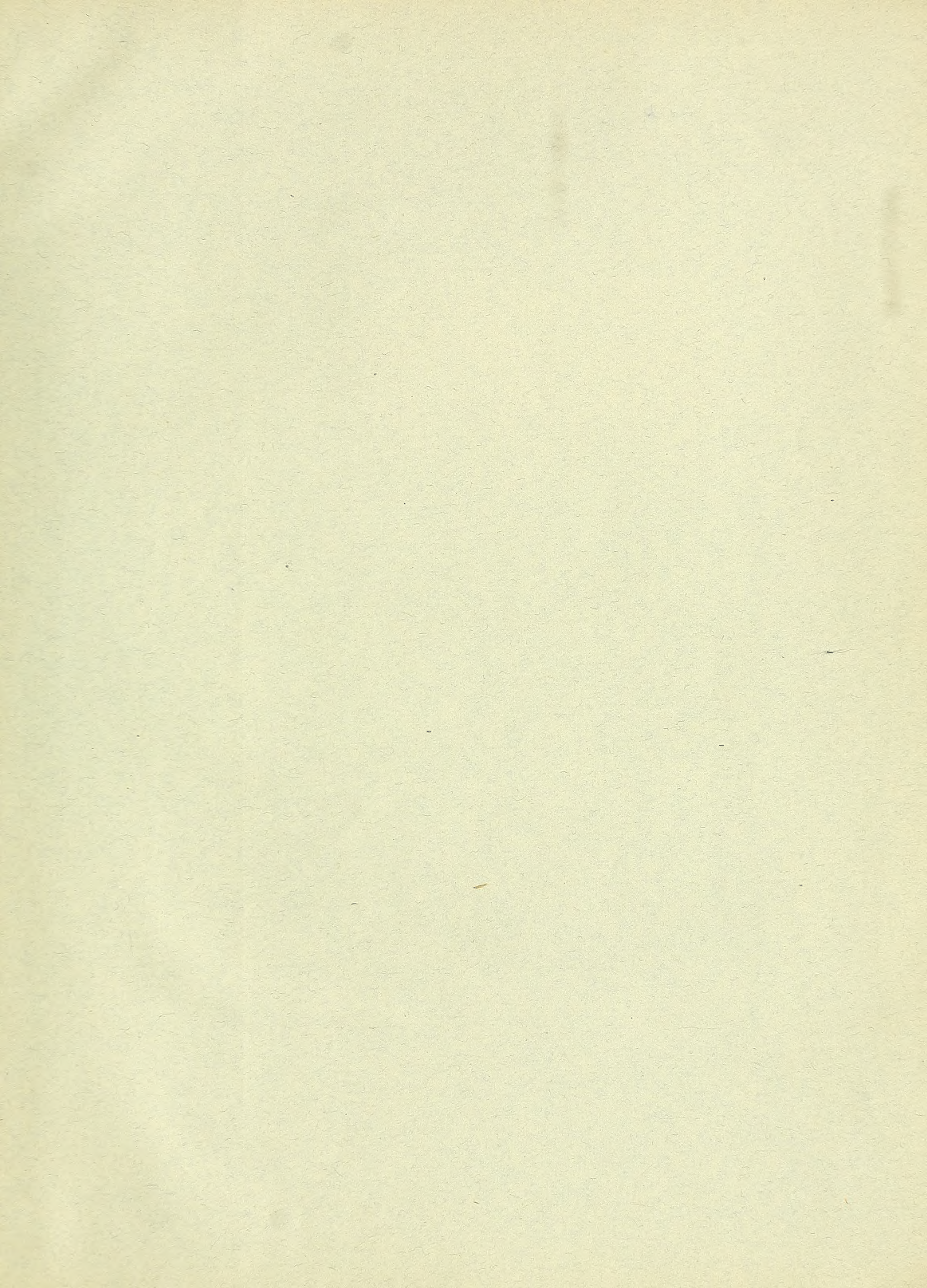


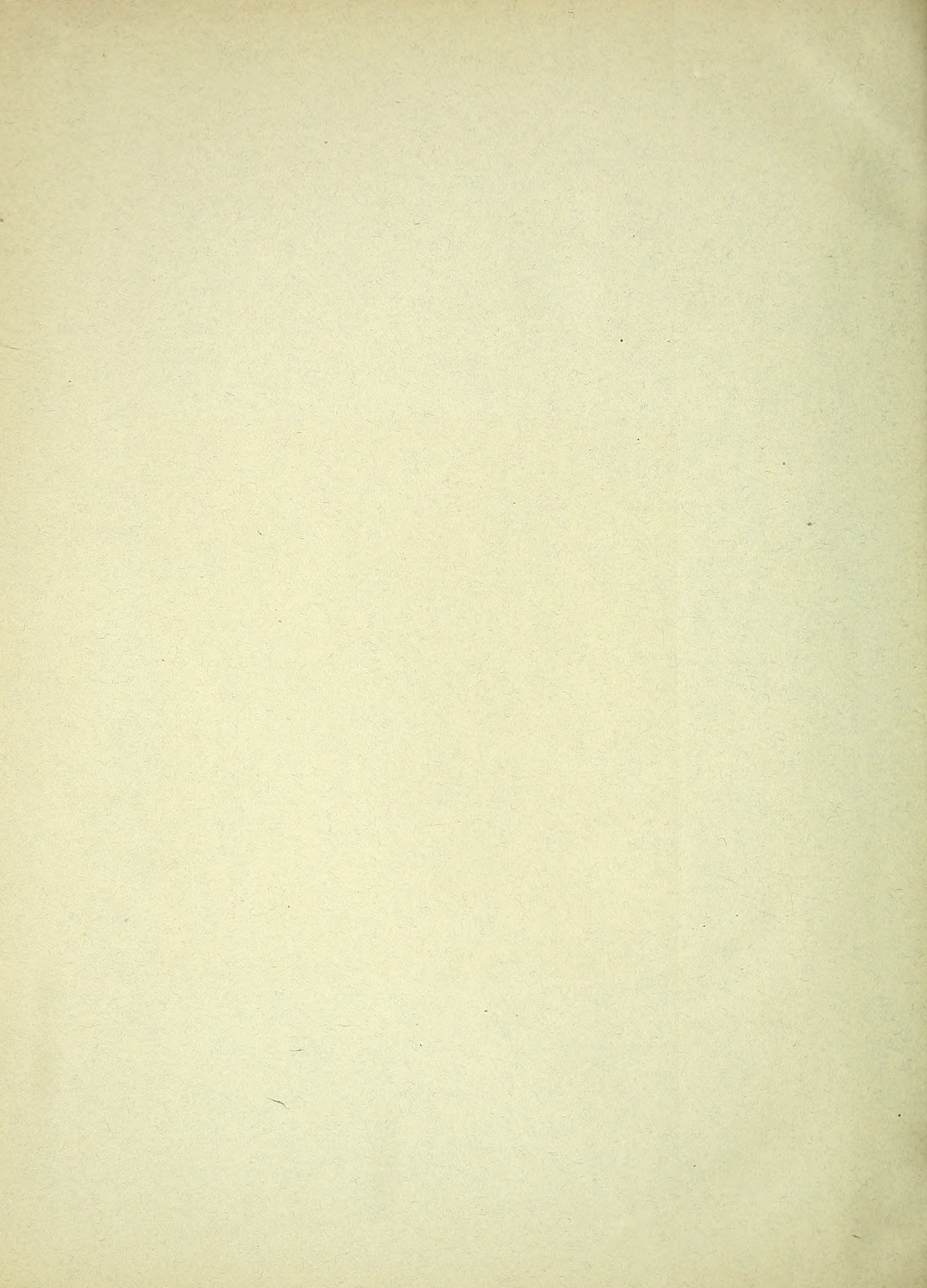


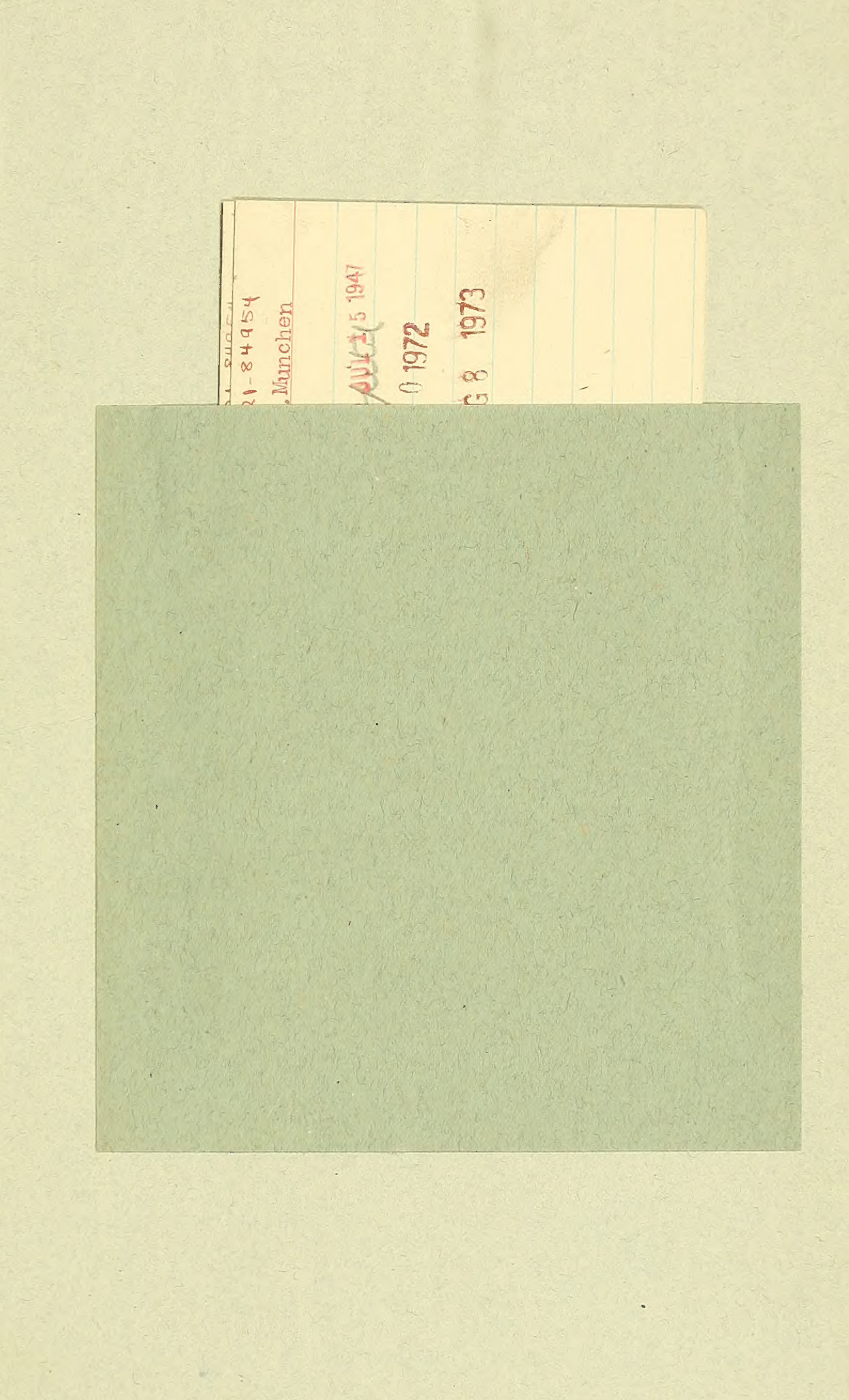
Akademische Buchdruckerei von F. Straub

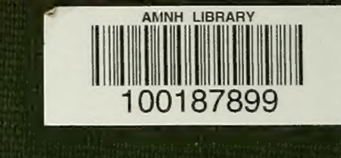











AMNH LIBRARY
100187899